

ارزیابی کاربرد طیف الکترومغناطیس در کارایی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در شرایط دیم

Spectral Evaluation of the Conservation and Conventional Tillage Systems under Rainfed Condition

ایرج اسکندری^۱، حسین نوید^۲، کاظم رنگزن^۳، فواد مرادی^۴ و بابک ناخدا^۵

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق دکتری و دانشیار، گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز
۴ و ۵- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۲۲

چکیده

اسکندری، ا.، نوید، ح.، رنگزن، ک.، مرادی، ف. و ناخدا، ب. ۱۳۹۳. ارزیابی کاربرد طیف الکترومغناطیس در کارایی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در شرایط دیم. *مجله به‌زراعی نهال و بذر* ۲-۳۰ (۳): ۲۷۵-۲۵۳.

اختلاف بین بازتاب طیفی می‌تواند مبنای آشکارسازی میزان بقایای گیاهی و رشد محصول به روش سنجش از دور در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باشد. به منظور ارزیابی نقش بقایای گیاهی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، این تحقیق به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۹۰) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار شامل یک تیمار خاک‌ورزی مرسوم و چهار تیمار خاک‌ورزی حفاظتی در چهار تکرار اجرا شد. ارزیابی بقایا و پارامترهای رشد محصول گندم به روش استفاده از امواج نزدیک فرسرخ توسط دستگاه طیف‌سنج زمینی با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر و دستگاه تصویر بردار گرمایی دستی با محدوده طیفی ۱۴۰۰-۸۰۰۰ نانومتر انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر دمای سطح خاک، دمای کانوپی و شاخص‌های منتج از طیف‌سنجی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. روش کاشت مستقیم موجب کاهش دمای سطح به میزان ۵/۷-۲/۵ و دمای کانوپی گندم در اواخر مرحله دانه بستن به میزان ۷-۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمارهای دیگر شد. در این تحقیق رابطه منفی معنی‌دار بین دمای کانوپی و عملکرد گندم وجود داشت. با توجه به همبستگی قوی بین درصد پوشش بقایا با شاخص جذب سلولز، اقدام به طبقه‌بندی روش‌های خاک‌ورزی شد. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم پوشش گیاهی کمتر از ۶٪ با مقادیر شاخص جذب سلولز منفی، تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته دارای پوشش گیاهی بین ۲۰-۱۰ درصد و شاخص جذب سلولز بین ۴-۲ و تیمار حداقل خاک‌ورزی دارای پوشش گیاهی بین ۴۲-۳۰ درصد با مقادیر شاخص جذب سلولز بین ۴-۵/۷ بود. تیمار بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم) دارای پوشش گیاهی بین ۷۵-۶۰ درصد و شاخص جذب سلولز بین ۸-۵/۷ بود. نتایج نشان داد که تصویر برداری گرمایی می‌تواند به عنوان روشی برای تمایز روش‌های مختلف خاک‌ورزی و ارزیابی تنش آبی گیاه مورد استفاده قرار گیرد. شاخص جذب سلولز که با استفاده از خاصیت جذب مواد سلولزی (بقایا گیاهی) در ۲۱۰۰ نانومتر محاسبه شد، به عنوان روشی برای برآورد پوشش بقایا به روش سنجش از دور در مناطق دیم قابل استفاده است و این امر در صورت وجود حسگرهای مربوطه در ماهواره‌های تحقیقاتی امکان‌پذیر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تصویر بردار گرمایی، شاخص‌های طیفی، خاک‌ورزی حفاظتی، دمای سطح، دمای کانوپی، گندم.

مقدمه

در فرسوخ (۹۰۰-۷۰۰ نانومتر) نمایان می‌شود (Hatfield and Pinter, 1993). در بخش‌هایی از فرسوخ (۲۶۰۰-۷۰۰ نانومتر)، انعکاس به ارتعاش گروه‌های کنشی مانند شکر، نشاسته، سلولز و لیگنین وابسته است (Murray and Williams, 1988). آب در گیاهان زنده، تعیین کننده اصلی انعکاس بوده و به محض پیر شدن گیاه و از دست دادن آب موجود در آن، سلولز و لیگنین در محدوده باندهای قابل رویت (۶۰۰-۴۰۰ نانومتر) و فرسوخ (۹۰۰، ۱۷۳۰، ۲۱۰۰ و ۲۳۰۰ نانومتر) عوامل تعیین کننده پاسخ طیفی هستند (Kokaly and Clark, 1999). در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و شاخص گیاهی توسعه یافته (EVI) هر دو از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای آماده‌سازی دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی زنده به کار گرفته می‌شوند (Matsushita *et al.*, 2007). شاخص تفاوت پوشش گیاهی با متغیرهای زیادی مانند کمبود تغذیه گیاهی، عملکرد محصولات ریزدانه و تنش آبی ارتباط دارد.

در رابطه با بقایای گیاهی، شاخص‌های مهمی نظیر شاخص جذب سلولز (CAI)، شاخص نرمال شده تفاوت خاک‌ورزی (NDTI) و شاخص موج کوتاه مادون قرمز نرمال شده تفاوت بقایا (SWINDRI) تعریف شده است (Galloza, and Crawford, 2012). شاخص نرمال شده تفاوت خاک‌ورزی نسبت به شاخص‌های دیگر براساس

خاک‌ورزی حفاظتی که در قالب کشاورزی حفاظتی تعریف شده است، شامل محدوده وسیعی در عملیات تولید بوده و اصولاً به کاهش عملیات خاک‌ورزی بین دو محصول و همچنین نگهداری ۳۰٪ یا بیشتر بقایای محصول قبلی و یا به کاهش کلی عملیات خاک‌ورزی به میزان ۴۰ درصد اطلاق می‌شود در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، هدف از باقی گذاشتن بقایا در سطح خاک، تأثیرگذاری روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به گونه‌ای است که شرایط بهینه برای جوانه‌زنی، توسعه ریشه و رشد گیاه فراهم و ماده آلی خاک افزایش یابد (Mitchell *et al.*, 2009).

اطلاعات به دست آمده از بازتاب طیفی گیاه می‌تواند در تعیین گستره‌ای از شاخص‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص‌ها می‌توانند شامل برآورد مقدار جذب طیفی در محدوده فعال تابش فتوسنتزی و اندازه و پتانسیل فتوسنتز کانوپی باشند (Araus *et al.*, 2001). عمل ریاضی نسبت‌گیری بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها در طول موج‌های مختلف که در سنجش از دور به شاخص طیفی معروف است می‌تواند موجب تشدید اختلاف بازتاب پدیده‌ها و همچنین کاهش عوامل منفی به ویژه عوامل محیطی باشد (Jackson and Huete, 1991). الگوی بازتاب بین گیاهان زنده و بقایای گیاهی اساساً به دلیل میزان آب و محتوای کلروفیل آن‌ها تغییر می‌کند. در گیاهان زنده، الگوی پاسخ طیفی بر اساس خاصیت جذب قوی در طول موج قابل رویت (۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر) با یک افزایش سریع انعکاس

تشخیص بقایا از خاک استفاده از خاصیت جذب اشعه در ۲۱۰۰ نانومتر و در اجزای دارای سلولز است. در این راستا دو پهنای بلند طول موج (۲۳۰۰-۱۷۳۰ نانومتر) وابسته به سلولز و ماده چوب اساس تشخیص بقایا از خاک هستند (Kokaly *et al.*, 2009). علی‌رغم این که شاخص جذب سلولز در متمایز ساختن خاک و بقایای گیاهی موثر است، ولی در بعضی مواقع، مواد معدنی خاک، موجب جذب طیفی با مقادیری شبیه یا حتی بیش از مقادیر جذب بقایا می‌شوند (Serbin *et al.*, 2009). محدوده طیفی بین ۳۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ نانومتر در منطقه فرسوخ، منطقه گرمایی فرسوخ نامیده می‌شود. این باند با استفاده از علائم مشخصه گرمایی، مناسب تصویربرداری گرمایی است (Gonzalez and Woods, 2002). با استفاده از دوربین‌های فرسوخ، اندازه‌گیری دمای برگ یا کانوپی به عنوان شاخصی برای بررسی وضعیت آب در گیاه بر این اصل استوار است که روزنه‌های برگ به هنگام تنش آبی بسته است (Patel *et al.*, 2001). انعکاس پرتوی از یک پدیده، با طول موج تغییر می‌کند که این رابطه به نام منحنی بازتاب طیفی نامیده می‌شود. از منحنی‌های طیفی جهت برجسته نمودن اهمیت یک باند نسبت به فرایندهای فیزیکی موثر در برهم‌کنش اشعه و پدیده حس شده، می‌توان استفاده کرد (Senay *et al.*, 2000).

با توجه به این که اساس خاک‌ورزی حفاظتی وجود پوشش بقایای محصول قبلی است، این پژوهش با استفاده از روش طیفی به دنبال آشکارسازی نقش بقایا در عملیات خاک‌ورزی

داده‌های ماهواره لندست برتری داشته ولی بیشتر تحت تاثیر گیاهان زنده و نوع خاک قرار می‌گیرد (Daughtry *et al.*, 2010).

بازتاب طیفی خاک و بقایای گیاهی اغلب در محدوده بینایی و محدوده پائین فرسوخ (۴۰۰-۱۹۰۰ نانومتر) شبیه به هم، ولی خاصیت جذب در بخش بالای طول موج فرسوخ (۱۹۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) دیده می‌شود (Serbin *et al.*, 2009). هرچند روش‌های سنجش از دور برای تشخیص گیاهان و ارزیابی موقعیت آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، تلاش‌ها برای اندازه‌گیری بقایای گیاهی با استفاده از این روش نتایج متفاوتی داشته است. در اراضی که تفاوت طیفی بین بازتابش بقایا و خاک، معنی‌دار است، شاخص‌هایی بر اساس نقشه برداری موضوعی لندست (Landset Thematic Mapper) می‌تواند در تشخیص مقدار بقایا استفاده شود. با این وجود، این شاخص‌ها در اراضی با خاک‌های متفاوت کمتر موثر هستند (Daughtry *et al.*, 2005) و قویاً تحت تاثیر گیاهان سبز قرار می‌گیرند (Gill and Phinn, 2008). بازتابش طیفی برای گیاهان سبز بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر است که مناسب برای خاک و بقایای گیاهی نیست (Daughtry *et al.*, 1997). اغلب از نظر بازتابش شبیه بوده و تفاوت آن‌ها تنها در دامنه طول موج‌های قابل رویت و نزدیک فرسوخ است که این امر تشخیص یا تمیز دادن بقایا از خاک را با مشکل مواجه می‌سازد (Streck *et al.*, 2002). یک روش امیدبخش برای

مقدار بارندگی کل طی فصل زراعی ۹۱-۹۰ و ۹۲-۹۱ به ترتیب برابر با ۲۷۳ و ۳۵۱ میلی‌متر بود و در سال زراعی ۹۱-۹۰ در مقایسه با بلندمدت ۲۳٪ کاهش داشت. در سال زراعی ۹۱-۹۰ از کل بارندگی سالیانه ۳۱/۲۳٪ در پاییز، ۲۸/۱۵٪ در زمستان و ۴۰/۶۱٪ آن در بهار به وقوع پیوسته بود. متوسط دمای سال زراعی مذکور در مقایسه با میانگین بلند مدت ۲/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش داشت. تعداد روزهای زیر صفر درجه برابر با ۱۴۲ روز که ۲ روز از بلند مدت بیشتر بود. در سال زراعی ۹۲-۹۱، از کل بارندگی ۴۱/۱٪ در پاییز، ۲۱/۱٪ در زمستان و ۳۰/۵٪ در بهار به وقوع پیوسته بود. متوسط دمای سال زراعی ۹۲-۹۱ در مقایسه با بلندمدت ۰/۳۷ درجه کاهش داشت. تعداد روزهای زیر صفر برابر با ۱۰۳ روز و ۴۱ روز از بلندمدت کمتر بود. با توجه به موارد مذکور دو سال زراعی از نظر دما و بارندگی با یک‌دیگر متفاوت بودند.

محل اجرای آزمایش در لایه سطحی لوم رسی و در لایه زیرین رسی بود. اراضی مذکور تحت کلاس ۳ توپوگرافی، شیب ۲-۵ درصد و دارای قابلیت نفوذپذیری آب به خاک آهسته (۵-۱ سانتی‌متر در ساعت) است.

برای هر دو محصول گندم و ماشک علوفه‌ای عملیات خاک‌ورزی پس از برداشت و در پائیز انجام شد. عمق شخم گاوآهن برگرداندار و گاوآهن چیزل توام با غلتک ۲۵ سانتی‌متر، خاک‌ورز مرکب ۲۰ سانتی‌متر و عمق شخم هرس بشقابی ۱۰ سانتی‌متر بود. در تیمار ۴ (بی‌خاک‌ورزی) بقایای ریخته شده توسط کمباین در حین برداشت جمع‌آوری شده و

حفاظتی و مرسوم و شناسایی روش‌های خاک‌ورزی توسط شاخص‌های طیفی در سیستم تناوبی علوفه - گندم در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار خاک‌ورزی حفاظتی و متداول در چهار تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۹۰) به اجرا درآمد. تیمارها به شرح زیر بودند:

- ۱- گاوآهن برگرداندار + هرس بشقابی + کاشت با خطی کار
- ۲- اوآهن قلمی + هرس بشقابی، کاشت با خطی کار

۳- خاک‌ورز مرکب + کاشت با خطی کار
۴- جمع‌آوری کاه و کلش ریخته شده توسط کمباین، کاشت با خطی کار کشت مستقیم

۵- توزیع یکنواخت کاه و کلش ریخته شده توسط کمباین، کاشت با خطی کار کشت مستقیم

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در استان آذربایجان شرقی واقع در ۲۵ کیلومتری جاده مراغه - هشتروند در ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه، ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۲۰ متری از سطح دریا به اجرا درآمد. منطقه مذکور از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است. متوسط بارندگی بلند مدت ۳۶۰ میلی‌متر است. حداکثر مطلق درجه حرارت ۳۷ درجه سانتی‌گراد، حداقل مطلق ۲۵- درجه و متوسط سالیانه ۹/۳ درجه سانتی‌گراد است.

در این تحقیق یک دستگاه طیف‌سنج زمینی به نام FieldSpec3 با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت. طیف‌سنج مذکور شامل سه ثابت در طول موج‌های ۳۵۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۱-۱۸۰۰ و ۱۸۰۱-۲۵۰۰ نانومتر بود. محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس و اثر مستقیم و اثر متقابل با استفاده از نرم افزار SPSS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. در این تحقیق جهت افزایش نسبت سیگنال به خطا (Signal-to-Noise Ratio)، منحنی‌های طیفی پس از نرم‌سازی (Smoothing) توسط نرم‌افزار سمس (SAMS) رسم شده‌اند (Tsai and Philpot, 1998).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

دمای سطح خاک در تیمارهای خاک‌ورزی و

کاشت

پس از عملیات خاک‌ورزی و کاشت، نتایج ارزیابی طیفی دمای سطح خاک توسط تصویربردار گرمایی نشان داد که دمای خاک در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی (NT_1 و NT_2) به طور معنی‌داری کمتر از دمای سطح خاک در سایر تیمارها به‌ویژه نسبت به مقدار آن در تیمار متداول بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش شدت خاک‌ورزی و کاهش بقایای گیاهی روی سطح خاک، دمای سطح خاک افزایش می‌یابد. براساس میانگین دو

ته‌ساقه‌های علوفه و گندم در کرت‌های مربوطه موجود بود. در تیمار ۵ (بی‌خاک‌ورزی) علاوه بر ته‌ساقه‌ها، بقایای گیاهی ریخته شده نیز به‌طور یکنواخت در سطح کرت پخش شد. ارزیابی بقایای محصول (گندم و ماشک) با استفاده از امواج فروسرخ توسط طیف‌سنج زمینی و تصویربردار گرمایی (Thermal Imager) بود. دمای کانوپی در مرحله رسیدگی محصول نیز به روش تصویربردار گرمایی IVN770-P شرکت ایمپک‌میکرون (Impac Mikron Group) بود. تصویربردار مذکور با آشکارساز (Detector) در محدوده طیفی ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر و وضوح 240×320 و با دقت دمای ۰/۱ درجه سانتی‌گراد بود. کنترل تشعشع در این دستگاه، از ۰/۱ تا ۱ با گام‌های ۰/۰۱ است.

شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) نیز بر اساس داده‌های تصویربردار گرمایی (دمای کانوپی) و اطلاعات هواشناسی محل تحقیق از رابطه زیر محاسبه شد (Idso et al., 1981; Nielsen, 1990):

$$CWSI = \{[(T_c - T_a) - D_2] / [D_1 - D_2]\} \times 10$$

که در آن:

CWSI: شاخص تنش آبی

T_c : دمای کانوپی ($^{\circ}C$)

T_a : دمای اتمسفر ($^{\circ}C$)

D_1 : حد بالای تفاوت دمای کانوپی و دمای

اتمسفر ($T_c - T_a$) و به هنگام توقف تعرق در گیاه

D_2 : حد پائین تفاوت دمای کانوپی و دمای

اتمسفر ($T_c - T_a$) براساس فشار اتمسفری

(بین ۱-۶ کیلوپاسکال) در حداکثر تعرق گیاه

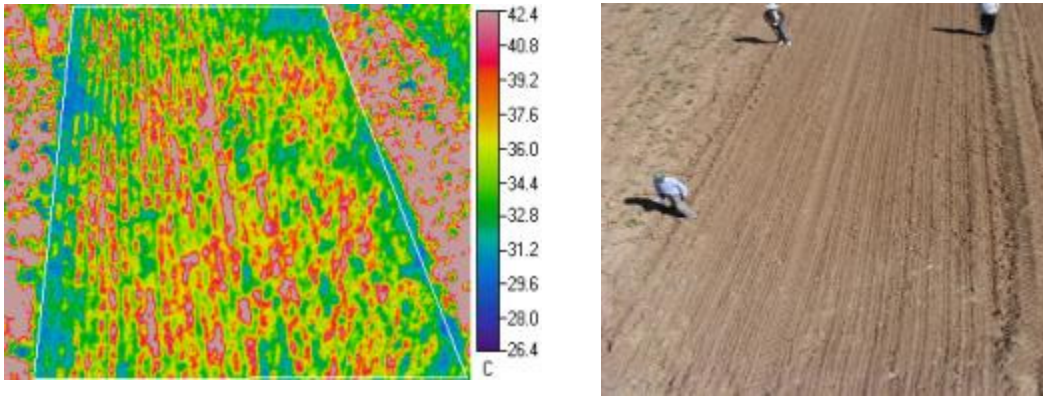
جدول ۱- تجزیه فیزیکی شیمیایی خاک محل اجرای طرح
Table 1. Soil physico-chemical analysis of the of experimental field

سال Year	عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (Ds/m)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	شن Sand %	سیلت Silt %	رس Clay %
2011-2012	0-30	0.45	7.8	0.56	0.053	11.0	560	28.0	22.0	50.0
	30-60	0.28	7.7	0.43	0.050	3.2	240	28.6	22.6	48.8
2012-2013	0-30	0.48	7.7	0.62	0.069	6.5	540	24.0	32.0	44.0
	30-60	0.29	7.8	0.45	0.048	2.0	210	26.6	26.6	47.8

تصاویر دیجیتالی و گرمایی کرت کشت شده به روش متداول (گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی) در شکل ۱ نشان داده شده است. در تصویر گرمایی محدوده کرت توسط کادر سفید رنگ مشخص شده است. با توجه به تصویر دیجیتالی، پس از عملیات خاک‌ورزی و کاشت آثار بسیار ناچیز از بقایای محصول قبلی در تصویر باقی مانده بود، که این امر در تصویربرداری طیفی (سنجش از دور) با بالا رفتن دمای سطح شد. میانگین دمای خاک در تیمار مذکور برابر با ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد و ۵/۷ درجه سانتی‌گراد بیشتر از روش بی‌خاک‌ورزی بود.

میانگین دمای خاک در تیمار ۲ (گاو آهن چیزل + هرس بشقابی) برابر با ۳۰/۷ درجه سانتی‌گراد و ۴/۸ درجه سانتی‌گراد بیشتر از میانگین دمای روش بی‌خاک‌ورزی در تمامی بقایای گیاهی بود. لیچ و ال کایسی (Licht and Al-Kaisi, 2005) نشان دادند که افزایش دمای خاک در استفاده از چیزل و خاک‌ورزی نواری در مقایسه با روش بی‌خاک‌ورزی هنگامی اتفاق می‌افتد که دمای هوا افزایش یابد و زمین شخم شده با چیزل دارای ظرفیت گرمایی کمتر و هدایت گرمایی بیشتر

سال بیشترین دمای خاک با میانگین ۳۱/۵ درجه مربوط به تیمار متداول و کمترین مقدار با میانگین ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیمار بی‌خاک‌ورزی در کل بقایا (NT₂) بود. در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و در مناطق سردسیر دیم، دمای خاک در بهار اغلب کمتر از روش‌های خاک‌ورزی متداول است. این امر به دلیل رطوبت بیشتر در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و انعکاس نور توسط بقایا است. در این مناطق و در روش‌های حفاظتی، جوانه‌زنی معمولاً چند روز دیرتر از روش‌های متداول انجام می‌شود، با این وجود در اغلب مواقع سرد بودن دمای خاک تاثیر منفی بر روی عملکرد نخواهد داشت (Arshad and Azooz, 1996). علت آن را نیز می‌توان با گریز محصول از تنش آخر فصل به دلیل رطوبت بالا و خنک بودن خاک و در نتیجه کاهش تبخیر مرتبط دانست. بنا به گزارش اولیورا و همکاران (Oliveira et al., 2001) در روش بی‌خاک‌ورزی و در طی روز، دمای خاک در لایه سطحی به طور معنی‌داری (۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد) کاهش می‌یابد. از طرفی در شب به دلیل خاصیت عایق مانند بقایا، با افزایش دمای سطح خاک تغییرات دمایی کاهش می‌یابد.



Conventional Tillage 10/21/2012 11:15 AM

شکل ۱- تصاویر دیجیتالی و گرمایی سطح خاک در تیمار متداول (گاوا آهن برگرداندار + هرس بشقابی: MD)
Fig. 1. Digital and thermal images of soil surface under conventional tillage system

خاک در تیمارهای مذکور به ترتیب برابر با ۲۷/۵ و ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۲). سایر محققین نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. داسیلوا و همکاران (Da Silva *et al.*, 2006) اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی شامل گاوا آهن برگرداندار، چیزل و بی‌خاک‌ورزی را بر روی دمای خاک بررسی کردند و نشان دادند که بقایای گیاهی در روش بی‌خاک‌ورزی موجب کاهش دمای حداکثر و دامنه روزانه دمای خاک نسبت به روش‌های دیگر می‌شود. مورارو و روسو (Moraru and Rusu, 2012)، نشان دادند که حداقل خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی موجب کاهش تغییرات دما در لایه ۱۵ سانتی‌متری خاک می‌شود. افزالی‌نیا و همکاران (Afzalinia *et al.*, 2011) نشان دادند که بی‌خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی موجب کاهش دمای سطح خاک به میزان به ترتیب ۳۹ و ۲۶ درصد نسبت به روش متداول شد.

نسبت به بی‌خاک‌ورزی باشد. تغییرات دمای خاک در خاک‌ورزی با گاوا آهن قلمی، بیشتر مربوط به شار یا جریان گرمایی (Heat flux) است، این شار گرمایی به ظرفیت تبادل گرمایی خاک بستگی داشته و با خاک‌ورزی تغییر می‌کند (Jury *et al.*, 1991).

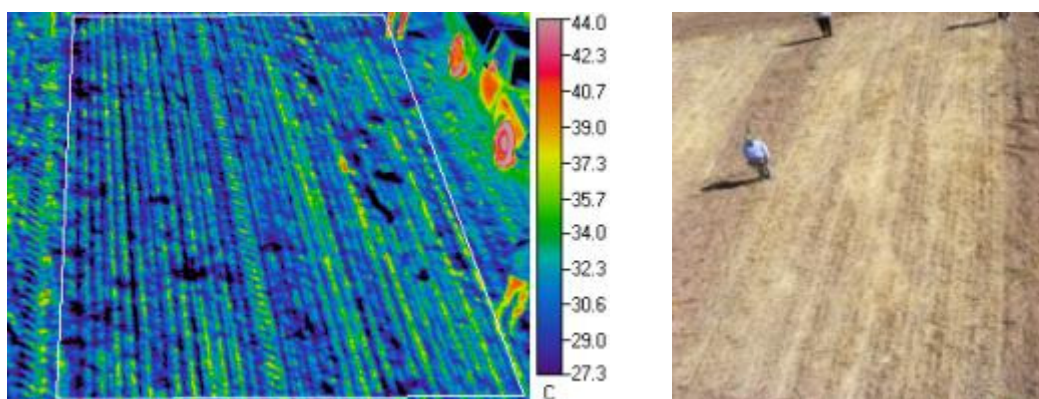
در تیمار ۳ (خاک‌ورز مرکب)، بقایای گیاهی بیشتری از محصول قبلی نسبت به تیمارهای ۱ و ۲ در سطح خاک موجود بود. در تصویربرداری طیفی از تیمار مذکور، کاهش معنی‌دار دمای سطح نسبت به تیمار متداول نمایان شد. میانگین دمای خاک در تیمار مذکور برابر با ۲۸/۳ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش شدت عملیات خاک‌ورزی (کاهش برگردان شدن خاک و کاهش دفن بقایای محصول قبلی) دمای سطح نیز کاهش نشان داد. دمای سطح خاک در تیمارهای ۴ و ۵ (تیمارهای بی‌خاک‌ورزی) به طور معنی‌داری کاهش یافت. میانگین دمای سطح

جدول ۲- مقایسه میانگین دمای سطح خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و روش کاشت
Table 2. Mean comparison of soil surface temperature in different tillage and planting treatments

روش‌های خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatments	دمای سطح خاک Soil surface temperature (°C)		
	2011-2012	2012-2013	Means
گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول) Mould board plough + Disk harrow	31.65±0.4 ab	31.4±0.3a	31.53±0.5a
گاو آهن قلمی + هرس بشقابی، (کم‌خاک‌ورزی) Chisel plough + Disk harrow	32.90±0.8a	28.45±0.9b	30.67±0.7a
خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی) Stubble cultivator	30.53±0.2bc	26.57±0.5bc	28.32±0.5b
کاشت مستقیم بر روی ته ساقه‌های محصول قبلی No-till on standing residue (NT ₁)	28.32±0.7cd	26.35±0.7c	27.34±0.6b
کاشت مستقیم در تمامی بقایای محصول قبلی No-till on total residue (NT ₂)	26.27±0.9d	25.37±0.6c	25.83±0.8
LSD 1%	2.1	1.9	1.3

میانگین‌ها (± انحراف استاندارد) با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means (±SD) in each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 1% level of probability.



No-till with total residue (NT₂) 10/15/2012 - 11:05 AM

شکل ۲- تصویر دیجیتالی و گرمایی سطح خاک در تیمار کاشت مستقیم در کلیه بقایای محصول قبلی (NT₂)
Fig. 2. Digital and thermal images of soil surface at No-till system with whole crop residue

نتایج ارزیابی رشد محصول و اندازه‌گیری دمای کانوپی گندم و علوفه به طریق تصویربرداری گرمایی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بود (جدول ۳). با توجه به نتایج دو سال اجرای تحقیق، در مرحله دانه‌بستن گندم، وجود بقایای گیاهی (علوفه) در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی

دمای کانوپی و شاخص تنش آبی در روش‌های خاک‌ورزی و کاشت تصویر دیجیتالی کلی از طرح آزمایشی نشان داد که تیمارهای آزمایشی از نظر رشد ظاهری و علائم تنش آبی آخر دوره رشد دارای تفاوت قابل رویت بودند (شکل ۳).



شکل ۳- تصویر کلی طرح آزمایشی، راست: فاز گندم؛ چپ: فاز علوفه
 Fig. 3. Digital images of experiment (Right: wheat and left: forage)

جدول ۳- مقایسه میانگین دمای کانوپی گندم و شاخص تنش آبی گیاه در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و روش کاشت

Table 3. Mean comparison of wheat canopy temperature and crop water stress in different tillage and planting treatments

تیمارهای خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatments	دمای کانوپی (°C) Canopy temperature (°C)			شاخص تنش آبی گیاه Crop water stress index
	سال Year			
	2011-2012	2012-2013	Mean	
گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول) Mould board plough + Disk harrow	35.57± 0.5a	39.4± 0.4 a	37.4± 0.4 a	0.929± 0.07a
گاو آهن قلمی + هرس بشقابی، (کم خاک‌ورزی) Chisel plough + Disk harrow	28.55± 0.7b	39.56± 0.8ab	34.06± 0.8b	0.816± 0.11ab
خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی) Stubble cultivator	27.67± 0.4bc	38.37± 0.6b	33.00± 0.7b	0.729± 0.09b
کاشت مستقیم بر روی ته ساقه‌های محصول قبلی No-till on standing residue (NT ₁)	26.27± 0.9cd	37.4± 0.5c	31.84± 0.4c	0.518± 0.08c
کاشت مستقیم در کلیه بقایای محصول قبلی No-till on total residue (NT ₂)	25.47± 0.8d	35.27± 0.7d	30.03± 0.6d	0.484± 0.01c
LSD 1%	2.08	1.06	1.07	0.213

میانگین‌ها (± انحراف استاندارد) با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means (±SD) in each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 1% level of probability.

کمترین مقدار با میانگین ۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیمار کاشت مستقیم در کل بقایای محصول قبلی (تیمار ۵) بود. تامسون و سالیوان (Thomson and Sullivan, 2006) نشان دادند که استفاده از تصویربرداری گرمایی به عنوان ابزار

(NT₁ و NT₂) موجب کاهش دمای کانوپی به مقدار ۱/۵ تا ۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر تیمارها شد. در طی دو سال بیشترین دمای کانوپی با میانگین ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیمار متداول (گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی) و

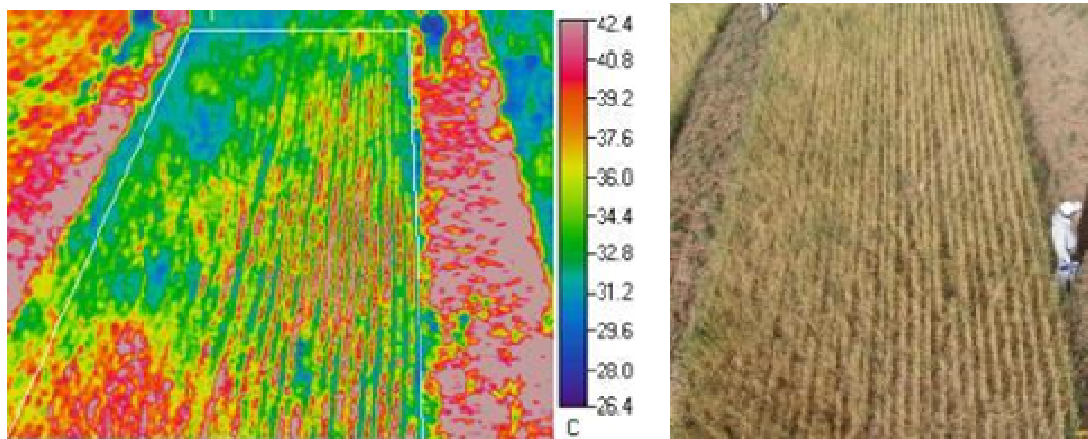
بهره‌وری مصرف آب گزارش کردند. مرابت (Mrabet, 1997) گزارش کرد که در شرایط دیم کاشت مستقیم گندم در بقایای محصول قبلی به دلیل رطوبت قابل دسترس بالا و دمای پائین، با تنش آبی کمتری مواجه می‌شود.

در سال اول اجرای این تحقیق، مقدار بارندگی برابر با ۲۷۳ میلی‌متر بود و ۲۳٪ نسبت به میانگین بلند مدت کاهش داشت. از این مقدار بارندگی ۴۰/۶٪ آن در بهار و در طی دوره رشد محصول به وقوع پیوست. به عبارت دیگر سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱، سالی خشک و در مجموع گیاه با تنش آبی مواجه بود. با این‌وجود تیمارهای آزمایشی از نظر دمای کانوپی و تنش آبی رفتار متفاوتی از خود نشان دادند. شکل ۴، کرت کشت شده به روش متداول (گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی) را در سال اول اجرای تحقیق و در مرحله دانه بستن گندم نشان می‌دهد. با توجه به تصویر دیجیتالی، آثار تنش در تیمار مذکور به وضوح دیده می‌شود، که این امر توسط تصویربرداری گرمایی تایید شد. به طوری که میانگین دمای کانوپی (میانگین داخل کادر سفید رنگ در تصویر) در تیمار مذکور برابر با ۳۵/۶ درجه سانتی‌گراد و بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر تیمارها داشت. دمای بالای کانوپی حاکی از تنش آبی در تیمار مذکور و عدم تعرق گیاه به دلیل عدم دسترسی به آب مورد نیاز است.

آثار تنش در تیمار ۲ (گاواهن چیزل + هرس بشقابی) نیز دیده شد، ولی شدت آن کمتر از روش متداول بود. در تیمار مذکور میانگین دمای کانوپی برابر با ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد بود که نسبت به

مناسبی برای ارزیابی تغییرات دمای کانوپی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. آنان گزارش کردند که دمای کانوپی در روش خاک‌ورزی حفاظتی (خاک‌ورزی نواری) ۷ درجه فارنهایت کمتر از روش خاک‌ورزی متداول است. سون و همکاران (Sun et al., 2009) نشان دادند که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به خصوص روش بی‌خاک‌ورزی موجب کاهش دمای کانوپی می‌شود. این امر می‌تواند ناشی از دسترسی به میزان رطوبت بالای خاک در ایجاد محیطی خنک به دلیل تعرق گیاه باشد. از آنجایی که دمای کانوپی هبستگی قوی با قابلیت گیاه در به دست آوردن رطوبت از لایه‌های پائینی خاک در مرحله گلدهی در شرایط تنش آبی دارد (Lopes and Reynolds, 2010)، اعمال هرگونه مدیریت خاک‌ورزی که موجب افزایش رطوبت در پروفیل خاک شود، موجب کاهش دمای کانوپی خواهد شد.

شاخص تنش آبی گیاه که با استناد دمای کانوپی محاسبه و مورد استفاده قرار می‌گیرد و به عنوان شاخصی برای تشخیص تنش رطوبتی گیاه به کار می‌رود. نتایج این تحقیق نشان داد که این شاخص در تیمارهای خاک‌ورزی متداول، کم خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی به ترتیب ۴۸، ۴۰ و ۳۳ درصد بیشتر از روش بی‌خاک‌ورزی در کلیه بقایا بود. به عبارت دیگر با کاهش شدت خاک‌ورزی، گیاه با تنش کمتری مواجه شد. کان‌دوگان و همکاران (Candogan et al., 2013) رابطه معنی‌داری بین شاخص تنش آبی گیاه و عملکرد دانه و

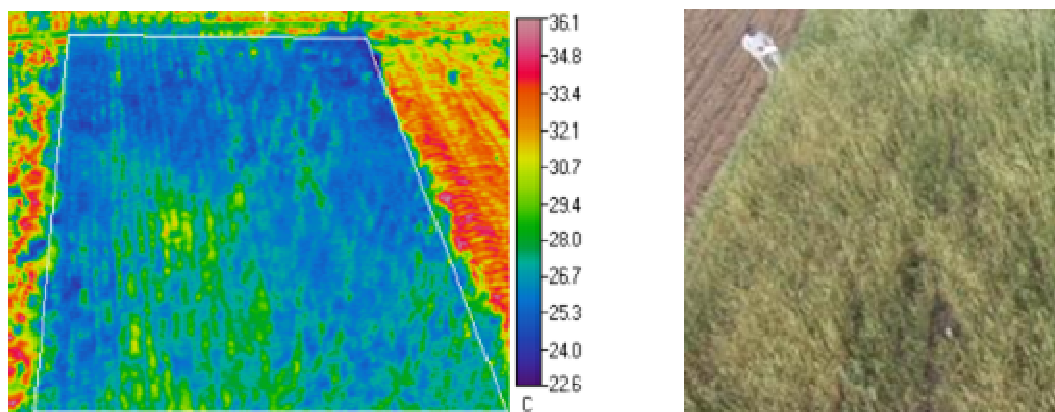


Conventional Tillage 6/21/2012 - 10:35 AM

شکل ۴- تصویر دیجیتالی گندم و تصویر گرمایی دمای کانوپی در تیمار متداول در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱
 Fig. 4. Digital image of wheat and thermal image of canopy temperature at conventional tillage system in 2011-2012 cropping season

باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح خاک موجب ایجاد محیطی برای کاهش تبخیر رطوبت خاک و در نتیجه بهبود تعرق گیاه و گریز از تنش آخر فصل به ویژه در زراعت دیم می‌شود. سون و همکاران (Sun *et al.*, 2009) نشان دادند که میزان تنفس خاک رابطه خطی معنی‌دار با دمای کانوپی داشت و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به ویژه روش بی‌خاک‌ورزی موجب کاهش دمای کانوپی شد. امینی و اعلمی (Amini and Alami, 2013) گزارش کردند که وجود ۲ تن در هکتار بقایای گیاهی گندم در سطح خاک موجب کاهش معنی‌دار دمای کانوپی محصول عدس، دمای برگ و دمای سطح خاک شد. گاتالا و همکاران (Gathala *et al.*, 2011) نیز نشان دادند که در مرحله پرشدن دانه بقایای موجود در سطح خاک در روش بی‌خاک‌ورزی موجب کاهش ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد در دمای کانوپی گندم شد.

تیمار متداول ۳/۳ درجه کاهش نشان داد. علت آن را می‌توان با کمتر دفن شدن بقایای محصول قبلی در صورت استفاده از گاواهن چیزل مرتبط دانست. در تیمار ۳ (خاک‌ورز مرکب) نیز آثار تنش دیده شد. ولی شدت آن بسیار کمتر از روش متداول و اندکی کمتر از تیمار ۲ بود. در تیمار مذکور میانگین دمای کانوپی برابر با ۳۳/۰ درجه سانتی‌گراد بود که نسبت به تیمار متداول ۴/۴ درجه کاهش نشان داد (جدول ۳). دمای کانوپی تیمارهای ۴ و ۵ (تیمارهای بی‌خاک‌ورزی) نسبت به سایر تیمارها کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۵). میانگین دمای کانوپی در تیمارهای مذکور به ترتیب برابر با ۳۱/۸ و ۳۰/۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). با توجه به اندازه‌گیری هم‌زمان دمای کانوپی در تمامی تیمارهای آزمایشی، این امر بیانگر فعالیت گیاه در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و تعرق گیاه است. بنا به گزارش جات و همکاران (Jat *et al.*, 2010)،



No-Till with standing residue (NT2) 6/21/2012 - 10:58AM

شکل ۵- تصویر دیجیتالی گندم و تصویر گرمایی دمای کانوپی در تیمار کاشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰

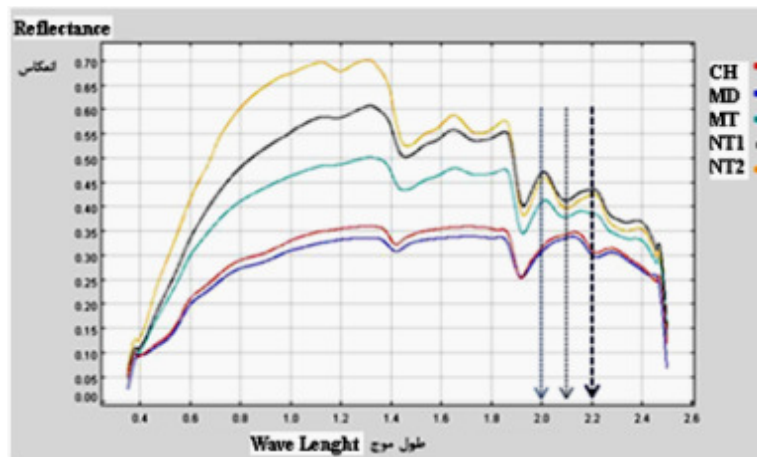
Fig. 5. Digital image of wheat and thermal image of canopy temperature at No tillage system in 2011-2012 cropping season

۰/۳۴ و ۰/۵۲ داشتند. داوتری و همکاران (Daughtry *et al.*, 2006) در تحقیقی نشان دادند که منحنی طیفی خاک لخت و خاکی با پوشش بقایای گیاهی ذرت تا ۱۲۰۰ نانومتر شبیه هم بوده و فقط تفاوت آن‌ها در مقدار و بزرگی بازتاب بود. منحنی‌های طیفی خاک معمولاً به صورت افزایش ساده از محدوده طیفی قابل رویت تا بخش فرورسرخ تعریف می‌شوند. عوامل عمده تاثیر گذار در انعکاس طیفی خاک‌ها شامل میزان رطوبت، ماده آلی، بافت، ساختمان و زبری و نرمی خاک است. دیویدی و همکاران (Dwivedi *et al.*, 1981) انعکاس طیفی چند نوع خاک را تحت تاثیر خاک‌ورزی پوششی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که خاک شخم شده توسط گاواهن برگرداندار دارای انعکاس کمتری نسبت به خاک شخم نشده بود. در این تحقیق، در طول موج بیشتر از ۱۹۵۰ نانومتر بقایای گیاهی در روش‌های

منحنی‌های طیفی روش‌های خاک‌ورزی و

کاشت

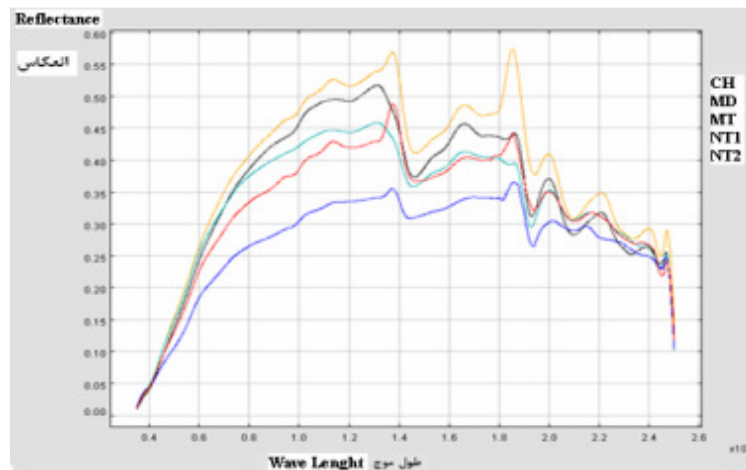
نتایج طیف سنجی و منحنی‌های بازتاب در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاشت در فازهای گندم و علوفه در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است. منحنی‌های بازتاب، حاصل میانگین داده‌های طیفی شامل ۴ و یا ۵ محل طیف سنجی در داخل هر کرت آزمایشی و در نهایت میانگین تکرارها در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر بود. از نظر شکل ظاهری، پاسخ طیفی تیمارهای آزمایشی بین ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر شبیه هم بوده ولی از نظر انعکاس، تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی به‌ویژه تیمارهای بی‌خاک‌ورزی دارای بازتاب طیفی بیشتری از تیمار متداول و چیزل بودند. به‌طوری‌که در ۱۲۰۰ نانومتر تیمار متداول (گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی) و تیمار بی‌خاک‌ورزی در کلیه بقایا، بازتابی به ترتیب برابر



MD: Mould board plough + Disk harrow, CH: Chisel plough+ Disk harrow, MT: Stubble Cultivator, NT1: No-Till on only standing residue, NT2: No-Till on total Residue

شکل ۶- نمودار بازتاب طیفی روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بقایای علوفه

Fig. 6. Spectral response curves of different tillage and planting systems in forage residue



MD: Mould board plough + Disk harrow, CH: Chisel plough+ Disk harrow, MT: Stubble Cultivator, NT1: No-Till on only standing residue, NT2: No-Till on total Residue

شکل ۷- نمودار بازتاب طیفی روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت روی بقایای گندم

Fig. 7. Spectral response curves of different tillage and planting systems in wheat residue

سلولز در محدوده باند طیفی به دلیل وجود بقایای گیاهی در تیمارهای مذکور بود. این امر در تیمار متداول و چیزل مشاهده نشد. گالوزا و کراوفورد (Galloza, and Crawford, 2012) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با جذب طیفی مواد سلولزی در طول موج ۲۱۰۰ نانومتر گزارش کردند. در فاز اول این تحقیق (گندم کشت شده در بقایای علوفه) با

بی‌خاک‌ورزی به دلیل ترکیب پیوندهای O-H و C-O موجب جذب در ۲۱۰۰ نانومتر شدند (شکل ۶). همان طوری که در این شکل دیده می‌شود منحنی تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی در طول موج‌های ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ نانومتر دارای اوج (Peak) و در ۲۱۰۰ نانومتر دارای فرورفتگی (Dip) بوده و حاکی از جذب

توجه به بقایای کمتر علوفه نسبت به گندم و دفن شدن تقریباً بیشتر بقایا در تیمار متداول و تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته (گاوآهن قلمی + دیسک)، منحنی طیفی در این تیمارها شبیه منحنی طیفی خاک لخت بوده و در ۲۲۰۰ نانومتر، خاصیت جذب نشان دادند. با توجه به بافت خاک در محل، جذب در طول موج مذکور را می‌توان با وجود رس‌های ایلیت و مونت‌مورلیت (موسوی، ۱۳۸۹) مرتبط دانست (Serbin et al., 2009).

در فاز دوم طرح آزمایشی همانند فاز اول، با افزایش بقایای گندم گیاهی در سطح خاک به عبارت دیگر در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، جذب طیفی در طول موج ۲۱۰۰ نانومتر اتفاق افتاد در حالی که تیمار متداول در طول موج مذکور جذب طیفی نداشت (شکل ۷). در این فاز، تیمار گاوآهن چیزل + هرس بشقابی نیز دارای جذب طیفی در طول موج ۲۱۰۰ نانومتر بود ولی عمق جذب کمتر و شیب منحنی ملایم‌تر از روش‌های بی‌خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی بود. این امر نشانگر وجود بقایای اندک گندم در سطح خاک و در تیمار مذکور است.

شاخص‌های طیفی در روش‌های خاک‌ورزی

با توجه به نتایج، اثر تیمار بر شاخص موج کوتاه مادون قرمز نرمال شده تفاوت بقایا، شاخص جذب لیگنین-سلولز و شاخص جذب سلولز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر تیمارها بر شاخص تفاوت خاک‌ورزی نرمال شده در سطح احتمال ۵٪ نیز معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت بر روی

شاخص‌های طیفی مرتبط با میزان بقایای در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، شاخص موج کوتاه مادون قرمز نرمال شده تفاوت بقایا در روش خاک‌ورزی متداول، کمترین مقدار و برابر با ۰/۱۰۳۵- بود. روش بی‌خاک‌ورزی بیشترین مقدار (۰/۰۷۹۴) این شاخص داشت. در این تحقیق برگردان شدن کامل بقایا در داخل خاک موجب منفی شدن مقدار شاخص موج کوتاه مادون قرمز نرمال شده تفاوت بقایا شد. سربین و همکاران (Serbin et al., 2010) نشان دادند که این شاخص در بقایا، مثبت و در نه نوع خاک مختلف مقدار آن کمتر از ۰/۰۲ و در چهار نوع خاک مختلف دیگر مقدار این شاخص منفی بود.

شاخص جذب لیگنین-سلولز در روش متداول منفی و با کاهش برگردان شدن خاک و افزایش پوشش بقایا در سطح خاک مقادیر مثبت به خود گرفت. به عبارت دیگر با افزایش مواد سلولزی و لیگنین، جذب طیفی نیز افزایش یافت.

در روش خاک‌ورزی متداول و برگردان شدن بیش از ۹۰٪ بقایا، شاخص جذب سلولز، منفی (۱/۳۴-) و در کاشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) با پوشش ۷۰ تا ۸۰ درصدی بقایا، این شاخص تا بیش از ۷ افزایش یافت. ناگلر و همکاران (Nagler et al., 2003) نشان دادند که این شاخص برای خاک برابر با ۲- و برای بقایای گیاهی برابر با ۵/۲ بود. سربین و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که میانگین شاخص جذب سلولز در پائیز و یک ماه بعد از برداشت برای بقایای ذرت و سویا به ترتیب برابر با ۵/۸ و ۵/۴ بود.

با توجه به نتایج این تحقیق، در استفاده از کلیه

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی بقایای گیاهی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و روش کاشت
Table 4. Mean comparison of spectral residue indices in different tillage and planting treatments

روش‌های خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatments	NDTI	CAI	LCAI	SINDRI
گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول) Mould board plough + Disk harrow	0.0777b	-1.345a	-0.0154d	-0.01035d
گاو آهن قلمی + هرس بشقابی، (کم خاک‌ورزی) Chisel plough + Disk harrow	0.1245ab	0.598c	0.0063c	0.0273c
خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی) Stubble cultivator	0.114ab	3.364b	0.0347b	0.0473bc
کاشت مستقیم بر روی ته ساقه‌های محصول قبلی NO-Till on standing residue (NT ₁)	0.1640a	7.161a	0.0823a	0.665ab
کاشت مستقیم در کلیه بقایای محصول قبلی NO-till on total residue (NT ₂)	0.1573a	7.250a	0.0891a	0.0794a
LSD 1%	0.063	3.40	0.022	0.021

میانگین‌ها (± انحراف استاندارد) با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با یک دیگر ندارند. Means (± SD), in each column followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 1% level of probability.

SINDRI: شاخص موج کوتاه مادون قرمز نرمال شده تفاوت بقایا؛ LCAI: شاخص جذب لیگنین - سلولز؛ NDTI: شاخص تفاوت خاک ورزی نرمال شده.

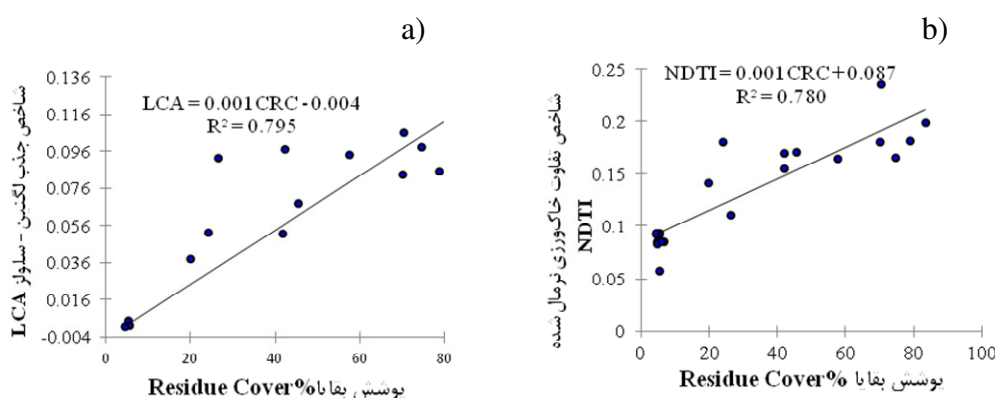
SINDRI: Short Wave Infrared Normalized Difference Residue Index; LCAI: Lignin-Cellulose Absorption Index; CAI: Cellulose Absorption Index; NDTI: Normalized Difference Tillage Index.

بین آن‌ها مشاهده شد (جدول ۳). این امر برتری شاخص‌های جذب لگنین - سلولز و جذب سلولز را نسبت به سایر شاخص‌های دیگر طیفی در شناسایی روش‌های خاک‌ورزی نشان می‌دهد. ناگلر و همکاران (Nagler *et al.*, 2003) گزارش کردند که با افزایش پوشش بقایای گیاهی به بیش از ۱۰٪، مقادیر شاخص جذب سلولز به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در خاک لخت می‌شود. داوتری و همکاران (Daughtry *et al.*, 2005) نشان دادند که شاخص‌های گیاهی و شاخص‌های خاک‌ورزی هم‌بستگی مناسبی با تغییرات اندک پوشش بقایای گیاهی نداشت در حالی که شاخص جذب سلولز به صورت خطی ($R^2 = 0.88$) با مقدار پوشش بقایای گیاهی مرتبط بود.

شاخص‌های طیفی، تیمارهای بی‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری با تیمار متداول داشتند. به عبارت دیگر با کاربرد این شاخص‌ها می‌توان روش بی‌خاک‌ورزی را از روش متداول تفکیک کرد، ولی نکته اساسی تمایز یا تفکیک تیمارهای کم‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهش یافته و بی‌خاک‌ورزی از هم دیگر بود. با توجه به نتایج، شاخص جذب لیگنین - سلولز و شاخص جذب سلولز قادر به تمایز بی‌خاک‌ورزی از حداقل خاک‌ورزی بود هم‌چنین توسط این شاخص‌ها، تیمار حداقل خاک‌ورزی قابل تفکیک از تیمار کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول بوده و تفاوت معنی‌داری

پوشش بقایای گیاهی کمتر از ۰.۴٪ بود، دارای مقادیر منفی و کمتر از ۰.۱/۰۱- بود. یعنی تیمارهای خاک‌ورزی که موجب دفن بقایای گیاهی شدند به ویژه تیمار متداول (گاوآهن برگرداندار + هرس بشقابی) دارای شاخص جذب لیگنین سلولز منفی بودند.

رابطه بین شاخص‌های طیفی و بقایای گیاهی شاخص جذب لیگنین - سلولز همبستگی مثبت با میزان پوشش بقایای محصول قبلی داشت (شکل ۸) این همبستگی به اندازه شاخص جذب سلولز قوی نبود ولی معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۸a، شاخص لیگنین - سلولز در مواقعی که



LCAI: Lignin-Cellulose Absorption Index; NDTI: Normalized Difference Tillage Index; CRC: Crop Residue Cover

شکل ۸- رابطه بین درصد پوشش بقایا با شاخص جذب لیگنین - سلولز و شاخص تفاوت خاک‌ورزی نرمال شده

Fig. 8. Relationship between crop residue cover and lignin-cellulose absorption and normalized difference tillage Indices

با استفاده از داده‌های لندست و ای تی ام ۷، نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. برخی مطالعات حاکی از همبستگی ضعیف بین شاخص‌های خاک‌ورزی و پوشش بقایای گیاهی است. در مقابل برخی محققین به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های خاک‌ورزی قادر به تمیز دادن خاک‌ورزی حفاظتی از خاک‌ورزی متداول با استفاده معادلات رگراسیون استدلالی هستند (Sullivan *et al.*, 2008). ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2012) بیان کردند که این نتایج مختلط به دلیل بی‌توجهی به اهمیت ابعاد زمانی

شاخص تفاوت نرمال شده خاک‌ورزی، با افزایش پوشش بقایای گیاهی، به صورت معنی‌داری افزایش داشت. در این تحقیق بیشترین مقدار این شاخص در حدود پوشش ۸۰ درصدی بقایا به دست آمد (شکل ۸b). ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2012) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست (ETM+7 و TM5) اقدام به طبقه‌بندی روش‌های مختلف خاک‌ورزی کردند. آن‌ها به رابطه خطی قوی ($R^2 = 0.89$) بین پوشش بقایای گیاهی و شاخص تفاوت خاک‌ورزی نرمال شده دست یافتند. برای پایش پوشش بقایای گیاهی

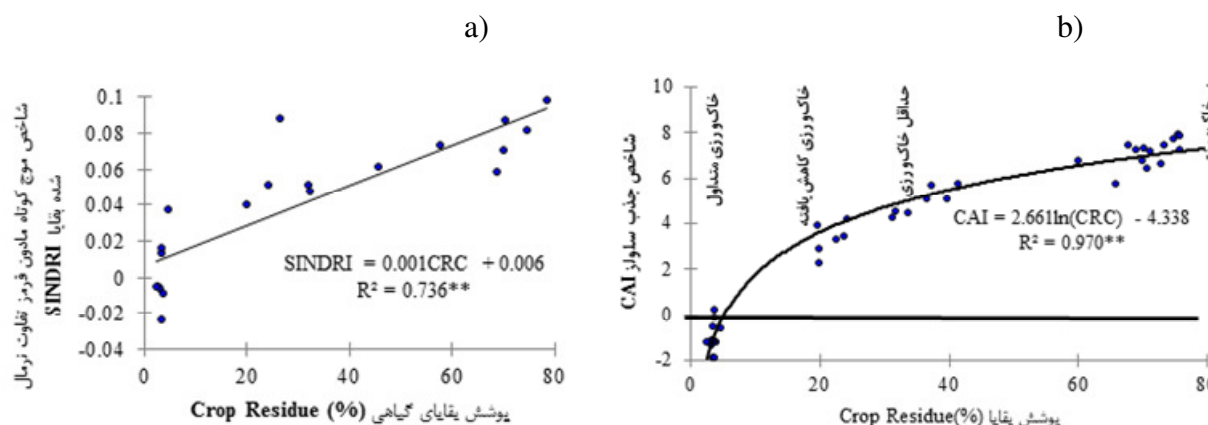
اجرای عملیات خاک‌ورزی است.

وجود داشت (شکل ۹). پوشش بقایای گیاهی در روش خاک‌ورزی متداول کمتر از ۵٪ و شاخص جذب سلولز کوچک‌تر از صفر بود. با افزایش درصد پوشش بقایای گیاهی، شاخص جذب سلولز نیز افزایش یافت و در روش‌های بی‌خاک‌ورزی تا ۸ رسید. با افزایش بقایای گیاهی از ۶٪ به ۱۰٪، شاخص جذب سلولز از ۰/۴۳ به ۱/۷۸ افزایش یافت. با افزایش میزان بقایا تا ۳۰٪، شیب منحنی تند و شاخص جذب سلولز برابر با ۴/۷۱ بود. در ۴۰، ۵۰ و ۷۰ درصد بقایا، شاخص سلولز به ترتیب برابر با ۵/۵۹، ۶/۰۷ و ۶/۹۷ بود. با توجه به نتایج این تحقیق، هرچند سایر شاخص‌ها در پاسخ طیفی روش‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی تاثیرگذار بودند، ولی شاخص جذب سلولز مهم‌ترین گزینه در تمایز روش‌ها و بقایای گیاهی بود. در این تحقیق با توجه به همبستگی قوی بین درصد پوشش بقایای گیاهی با شاخص جذب سلولز، اقدام به طبقه‌بندی روش‌های خاک‌ورزی شد. پوشش گیاهی کمتر از ۶٪ با مقادیر شاخص جذب سلولز برابر یا کمتر از صفر در تیمار خاک‌ورزی مرسوم قرار گرفتند. پوشش گیاهی بین ۲۰-۱۰ درصد با شاخص جذب سلولز بین ۴-۲ در تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته (از نکته نظر برگردان شدن خاک) و پوشش گیاهی بین ۴۲-۳۰٪ با مقادیر شاخص جذب سلولز بین ۵/۷-۴ در تیمار حداقل خاک‌ورزی قرار گرفتند. در نهایت تیمار بی‌خاک‌ورزی دارای پوشش گیاهی بین ۷۵-۶۰٪ و شاخص جذب بین ۸-۵/۷ بودند. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. بنا به گزارش

رابطه بین درصد بقایای گیاهی با شاخص‌های جذب سلولز و موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا

با توجه به نتایج این تحقیق، شاخص موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا با درصد پوشش بقایای گیاهی رابطه خطی معنی‌دار داشت. در پوشش بقایای گیاهی کمتر از ۲٪، شاخص موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا دارای مقادیر منفی بود (شکل ۹a). با افزایش درصد پوشش بقایا، شاخص مذکور ابتدا به صفر رسید و سپس در مقادیر مثبت افزایش یافت. بنا به گزارش ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2012) مقادیر شاخص موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا با توجه به نحوه خاک‌ورزی، بین ۰/۰۶- و ۰/۰۸ متغیر است. سرین و همکاران (Serbin *et al.*, 2009) با استفاده از روش رگرسیون خطی و با استناد به R^2 تبیین و میانگین مربعات خطا، در مقایسه شاخص‌های طیفی با پوشش بقایای گیاهی نشان دادند که شاخص موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا بهتر از شاخص تفاوت خاک‌ورزی نرمال شده و شاخص جذب لیگنین - سلولز عمل کرده ولی نمی‌تواند بهتر از شاخص جذب سلولز در شناسایی بقایای گیاهی عمل کند.

رابطه بین شاخص جذب سلولز و پوشش بقایای گیاهی در شکل ۹b نشان داده شده است. براساس نتایج این تحقیق، رابطه لگاریتمی معنی‌دار مثبتی بین شاخص جذب سلولز و پوشش بقایا



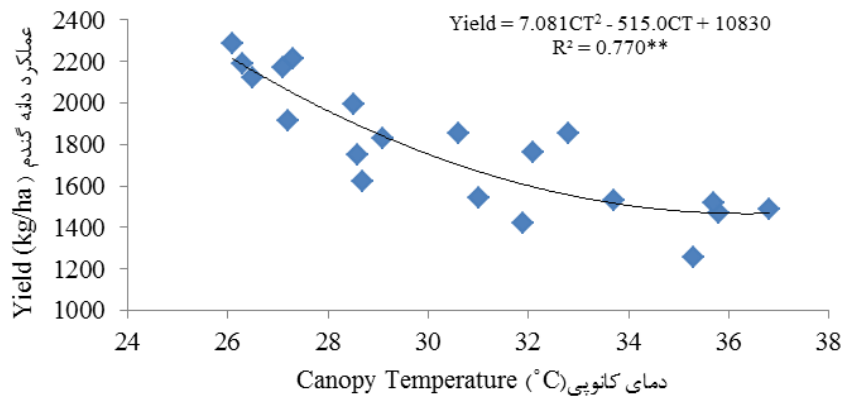
CAI: Cellulose Absorption Index; SINDRI: Short Wave Infrared Normalized Difference Residue Index; CRC: Crop Residue Cover

شکل ۹- رابطه بین درصد پوشش بقایا با شاخص موج کوتاه مادون قرمز تفاوت نرمال شده بقایا
 Fig. 9. Relationship between crop residue cover and short wave infrared normalized difference residue and cellulose absorption indices

مرحله دانه بستن، عملکرد دانه گندم کاهش نشان داد. روند کاهش عملکرد ابتدا دارای شیب تند بوده و سپس در دمای حدود ۳۴ درجه سانتی‌گراد تقریباً ثابت بود. با افزایش یک درجه سانتی‌گراد دمای کانوپی، به طور میانگین عملکرد دانه ۹۷ کیلوگرم کاهش یافت. کاهش عملکرد در محدوده ۲۶ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد دمای کانوپی بود. با توجه به نتایج این تحقیق تاثیر دمای کانوپی در کاهش عملکرد می‌تواند محدود به مقادیر خاصی باشد که از شیب منحنی مربوطه تبعیت می‌کند (شکل ۱۰). گوندوز و همکاران (Guendouz *et al.*, 2012) نشان دادند که دمای کانوپی هم‌بستگی منفی معنی‌دار با عملکرد گندم در شرایط دیم دارد. الیور ویلیجس و همکاران (Olivares-Villegas *et al.*, 2007) نیز نشان دادند که دمای کانوپی مرتبط با عملکرد دانه گندم است. در مجموع، با توجه به نتایج، در منطقه مورد تحقیق و در محصولات گندم و علوفه پائیزه،

آگیولار و ایوانس (Aguilar and Evans, 2012) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص جذب سلولز و پوشش بقایای گیاهی وجود دارد. توما و همکاران (Thoma *et al.*, 2004) با استفاده از داده‌های سنجش از دور، میزان پوشش بقایای گیاهی را در خاک‌ورزی ۰-۳۰ درصد و پوشش بقایا را در خاک‌ورزی حفاظتی را بین ۳۱-۱۰۰ درصد با دقت ۷۹-۸۰ درصد برآورد کردند. با این وجود تحقیقات اندکی در رابطه با طبقه‌بندی روش‌های خاک حفاظتی براساس میزان بقایا انجام شده و یا تحقیقات انجام شده در این راستا دارای دقت پایینی بوده است. علت این امر شباهت خیلی زیاد میزان بقایای گیاهی در روش کم‌خاک‌ورزی با روش بی‌خاک‌ورزی است (Watts *et al.*, 2011).

در این تحقیق رابطه منفی و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین دمای کانوپی و عملکرد گندم وجود داشت (شکل ۱۰). با افزایش دمای کانوپی در



CT: Canopy temperature

شکل ۱۰- رابطه بین عملکرد دانه گندم با دمای کانوپی

Fig. 10. Relationship between wheat grain yield and canopy temperature

عنوان شاخصی برای تعیین دمای گیاهان و رشد آنها، تنش آبی و روشی برای ارزیابی و تمایز روش‌های مختلف خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا با استناد به نتایج حاصل از این تحقیق (داده برداری طیفی زمینی) می‌توان داده‌های برداشت شده توسط بعضی از ماهواره‌ها (به واسطه وجود حسگرهای مربوطه در آنها) را تصحیح و در سطح وسیع به شناسایی روش‌های مختلف خاک‌ورزی و نیز روند رشد محصول اقدام کرد.

شاخص جذب سلولز به طور عملی می‌تواند به عنوان روشی برای برآورد پوشش بقایا به روش سنجش از دور مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق مقادیر شاخص جذب سلولز بین ۲-۴ شاخص بارز خاک‌ورزی کاهش یافته، مقادیر بیش از ۴ بیانگر خاک‌ورزی حفاظتی و مقادیر برابر با صفر و یا منفی مشخصه خاک‌ورزی مرسوم بود. از این رو با استفاده از شاخص جذب سلولز می‌توان روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی را تفکیک و مشخص کرد. تصویر برداری گرمایی می‌تواند به

References

- Afzalnia, S., Karami, A., Talati, M. H., and Alavimanesh, S. M. 2011.** Effect of conservation tillage on the soil properties and corn yield. Proceedings of CSBE/SCGAB 2011 Annual Conference Inn at the Forks, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Aguilar, J. P., and Evans, R. G. 2012.** Remote sensing crop residue for improved watershed management. Proceedings of North Dekota Water Quality Monitoring Conferance 02, 27-29.
- Al-Kaisi, M. M., Hanna, M., and Licht, M., 2009.** Soil erosion water quality. Cooperative Extension Service, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, USA.

- Amini, R., and Alami, M. 2013.** Effect of mulching on soil, canopy and leaf temperature of lentil (*Lens culinaris* Medick.). International Journal of Farming and Allied Sciences 2 (20): 797-802.
- Araus, J.L., Casadesus, J., and Bort, J. 2001.** Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. pp. 59-77. In: Reynolds, M., Ortiz-Monasterio, J. I., and McNab, A. (eds.) Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT, Mexico D. F.
- Arshad, M. A., and Azooz, R. H. 1996.** Tillage effects on soil thermal properties in semi-arid cold region. Soil Science Society of America Journal 60: 561-567.
- Candogan, B. N., Sincik, M., Buyukcangaz, H., Demirtas C., Goksoy, A. T., and Yazgan, S. 2013.** Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. Agricultural Water Management 118: 113-121.
- Da Silva, V. R., Reichert, J. M., and Reinert, D. J. 2006.** Soil temperature variation in three different systems of soil management in blackbeans crop. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo 30 (3):391–399.
- Daughtry, C. S. T., Doraiswamy, P. C., Hunt Jr, E. R., Stern A. J., McMurtrey, J. E., and Prueger, J. H. 2006.** Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. Soil Tillage Research 91: 101-108.
- Daughtry, C. S. T., Hunt Jr, E. R., Doraiswamy, P. C., and McMurtrey, J. E. 2005.** Remote sensing the spatial distribution of crop residues. Agronomy Journal. 97: 864-871.
- Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., Kim, M. S., and Chappelle, E.W. 1997.** Estimating crop residue cover by blue fluorescence imaging. Remote Sensing of Environment 60 (1): 14-21.
- Daughtry, C. S. T., Sebin, G., Reeves, J. B., Doraiswamy, P. C., and Hunt Jr, E. R. 2010.** Spectral reflectance of wheat residue during decomposition and remotely sensed estimates of residue cover. Remote Sensing 2: 416-431.
- Dwivedi, R. S., Singh, A. N., and Raju, K. K. 1981.** Spectral effectance of some typical Indian soils as affected by tillage and cover types. Journal of Photo-Int and Remot Sensing 9 (2): 182-186.
- Galloza, M. S., and Crawford, M. M. 2012.** Exploiting multisensory spectral data to improve estimates of agricultural crop residue. NASA HypIRi Products Symposium May 16-17, USA.
- Gathala, M. K., Kumar, V., Saharawat, Y. S., Blackwell, J., and Ladha, J. K. 2011.**

- Happy Seeder technology: a solution for residue management for the sustainability and improved production of the rice-wheat system of the Indo-Gangetic Plains. Proceedings of the Congress of Conservation Agriculture Incorporating 3rd Framing System Design Conference, Brisbane, Australia.
- Gill, T. K., and Phinn, S. R. 2008.** Estimates of bare ground and vegetation cover from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) shortwave- infrared reflectance imagery. *Journal of Applied Remote Sensing* 2: 023-511.
- Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. 2002.** Digital Image Processing, 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 190 pp.
http://aci-ar.gov.au/files/node/13991/happy_seeder_technology_39223
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M., and Hafsi, M. 2012.** Canopy temperature efficiency as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in semi arid conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability* 12 (1): 23-38.
- Hatfield, J. L., and Pinter, P. J. 1993.** Remote sensing for crop protection. *Crop Protection* 12: 403-412.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, Jr, P. J., Reginato, R. J., and Hatfield, J. L. 1981.** Normalizing the stress degree day for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
- Jackson, R. D., and Huete, A. R. 1991.** Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine* 11: 185-200.
- Jat, M. L., Singh, R. G., Sidhu, H. S., Singh, U. P., Malik, R. K., Kamboj, B. R., Jat, R. K., Singh, V., Hussain, P., Mazid, A. M., Sherchan, D. P., Khan, A., Singh, V. P., Patil, S. G., McDonald, A., and Gupta, R. 2010.** Resource Conserving Technologies in South Asia: Frequently Asked Questions. Technical Bulletin, International Maize and Wheat Improvement Center, New Delhi, India. 44 pp.
- Jury, W. A., Gardner, W. R., and Gardner, W. H. 1991.** Soil Physics, 5th ed. Wiley, Toronto, Canada. 352 pp.
- Kokaly, R. F., Asner, G. P., Ollinger, S. V., Martin, M. E., and Wessman, C. A. 2009.** Characterizing canopy biochemistry from imaging spectroscopy and its application to ecosystem studies. *Remote Sensing of Environment* 113: 78-91.
- Kokaly, R. F., and Clark, R. N. 1999.** Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. *Remote Sensing of Environment* 67: 267-287.

- Licht, M. A., and Al-Kaisi, M. 2005.** Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 80: 233-249.
- Lopes, M., and Reynolds, M. P. 2010.** Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional Plant Biology* 37: 147-156.
- Matsushita, B., Wei, Y., Jin, C., Yuyichi, O., and Guoyn, Q. 2007.** Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density Cypress forest. *Sensors*. www.mdpi.org/sensors.
- Mitchell, J. P., Pettygrove, G. S., Upadhyaya, S., Shrestha, A. A., Fry, R., Roy, R., Hogan, P., Vargas, R., and Hembree, K. 2009.** Classification of Conservation Tillage Practices in California Irrigated Row Crop Systems. Oakland, CA: UC ANR Pub. 8364. 8 pp.
- Moraru, P. I., and Rusu, T. 2012. **Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops.** *Food, Agriculture and Environment* 10(2): 445-448.
- Mrabet, R. 1997.** Crop Residue Management and Tillage Systems for Water Conservation in a Semiarid Area of Morocco, Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Murray, I., and Williams, P. C. 1988.** Chemical principles of near-infrared technology. pp. 17-34. In: Phil Williams, P., and Norris, K. (eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Nagler, P. L., Inoue, Y., Glenn, E. P., Russ, A. L., and Daughtry, C. S. T. 2003.** Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. *Remote Sensing of Environment* 87 (2-3): 310-325.
- Nielsen, D. C. 1990.** Scheduling irrigations for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field Crops Research* 23: 103-116.
- Oliveira, J. C. M., Timm, L. C., Tominaga, T. T., CassaroReichardt, F. A. M. K., S.Bacchi, O. O., Dourado- Neto, D., and Camara G. M. D. 2001.** Soil temperature in a sugar-cane crop as a function of the management system, *Plant Soil* 230: 61-66.
- Olivares-Villegas J. J., Reynolds, M. P., and McDonald, G. K. 2007.** Drought-adaptive attributes in the Seri/Babax hexaploid wheat population. *Functional Plant Biology* 34: 189-203.

- Patel, N. R., Mehta, A. N., and Shekh, A. M. 2001.** Canopy temperature and water stress quantification in rainfed pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Agricultural and Forest Meteorology* 109: 223-232.
- Senay, G. B., Lyon, J. G., Ward, A. D., and Nokes, S. E. 2000.** Using high spectral resolution multispectral data to classify corn and soybean crops. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (3): 319-327.
- Serbin, G., Daughtry, C. S. T., Hunt Jr, E. R., Reeves, J. B., and Brown, D. J. 2009.** Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. *Remote Sensing of Environment* 113: 224-238.
- Serbin, G., Hunt Jr, E. R., Daughtry, C. S. T., Brown, D. J., McCarty, G. W., and Doraiswamy, P. C. 2010.** Assessment of spectral indices for crop residue cover estimation. *Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Honolulu, HI, USA.
- Streck, N. A., Rundquist, D., and Connot, J. 2002.** Estimating residual wheat dry matter from remote sensing measurement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68 (11): 1193-1201.
- Sullivan, D. G., Strickland, T. C., and Masters, M. H. 2008.** Satellite mapping of conservation tillage adoption in the Little River experimental watershed, Georgia. *Journal of Soil and Water Conservation* 63 (3): 1193-1201.
- Sun, X. H., Zhang, R. Z., Cai, L. Q., and Chen, Q. Q. 2009.** Effects of different tillage measures on upland soil respiration in Loess Plateau. *College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China.*
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20030139>.

