

کاربردهای سنجش از دور در زراعت چغندر قند و نیشکر

محسن بذرافشان*۱، یحیی امام۲، سید رشید فلاح شمسی۳، محمد عبداللهیان نوقابی۴

۱ دانشجوی پیشین دکتری بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز و عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ۰۹۱۷۳۱۰۹۸۳۰، bazrafshan@faresagres.ir

۲ استاد بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شیراز، ۰۷۱۳۲۲۸۶۱۳۴، yaemam@shirazu.ac.ir

۳ دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه شیراز، ۰۷۱۳۲۲۸۷۱۵۹، fshamsi@shirazu.ac.ir

۴ دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، ۰۲۶۳۲۷۰۲۶۱۱، noghabi@yahoo.com

چکیده

در حال حاضر بخش کشاورزی نقش مهم و حیاتی در تامین غذای مورد نیاز کشور، تحقق امنیت غذایی و توسعه پایدار دارد. با توجه به افزایش جمعیت کشور و لزوم تهیه و تامین شکر مورد نیاز برای مصرف مستقیم مردم و هم‌چنین استفاده به عنوان جزء تشکیل دهنده برخی از مواد غذایی و نبود تولید کافی در کشور، لازم است آگاهی دقیقی از وضعیت تولید کمی و کیفی سالیانه وجود داشته باشد تا بتوان با برنامه‌ریزی دقیق نیازهای داخلی را تامین نمود. یکی از فن‌آوری‌های نوین که در جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز کمک شایان توجهی می‌نماید سنجش از دور است. سنجش از دور یک روش مشاهده‌ای غیرمستقیم و غیر تخریبی است که در مورد محصولات کشاورزی اطلاعات کمی بسیاری را بدون نیاز به نمونه‌برداری فراهم می‌آورد. کاربرد سنجش از دور به دلیل دسترسی سریع به اطلاعات، بهنگام بودن و امکان آشکار نمودن تغییرات سریع سایه‌اندازهای گیاهی در برنامه ریزی و مدیریت بهینه کشاورزی منافع بسیاری دارد. امروزه از این فن‌آوری در تعیین سطح زیر کشت، پایش رشد و مراحل رویشی، برآورد کیفیت و عملکرد گیاهان زراعی، شناسایی و مدیریت بیماری‌ها و آفات، مدیریت آبیاری، بررسی وضعیت تغذیه و کمبود عناصر غذایی، تشخیص تنش‌های محیطی، ارزیابی خسارت تنش‌ها به تولید گیاهان زراعی و بیمه محصولات کشاورزی، تهیه آمار کشاورزی، برنامه‌ریزی صادرات و واردات در سطح ملی و برقراری تعادل در بازار محصولات استفاده می‌شود. با بکارگیری نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور، می‌توان با صرفه‌جویی در وقت و هزینه مدیریت دقیق و هوشمندانه‌ای در زراعت چغندر قند و نیشکر اعمال نمود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، چغندر قند، زراعت، سنجش از دور، نیشکر.

مقدمه

مهم‌ترین هدف از تولید محصولات زراعی دستیابی به امنیت غذایی است که برای سلامتی و شادابی هر ملتی ضروری است. امروزه سنجش از دور به منبع ارزشمند و مطمئنی از اطلاعات برای مدیریت تولیدات کشاورزی و ارزیابی عرضه و تقاضای جهانی این محصولات تبدیل شده است (۱). سنجش از دور یک روش مشاهده غیر مستقیم و غیر تخریبی است که اطلاعات کمی در مورد پدیده‌ها (گیاهان زراعی) بدون تماس با آنها را فراهم می‌آورد (۱۸).

فیزیک سنجش از دور

جمع‌آوری اطلاعات در سنجش از دور بر پایه‌ی تجزیه و تحلیل انرژی دریافت شده از پدیده‌های مورد نظر است. سنجنده‌ها انرژی رسیده از پدیده را شناسایی، ثبت و پردازش می‌کنند (۱). منبع این انرژی در کشاورزی و منابع طبیعی خورشید است. اساس علم سنجش از دور بر ثبت ویژگی‌های طیفی پدیده‌ها است و آگاهی از این ویژگی‌ها شرط اساسی جهت استفاده موفق از داده‌های سنجش از دور برای مطالعه و بررسی آنهاست (۲).

انرژی الکترومغناطیسی انرژی اصلی است که سامانه سنجش از دور آشکار می‌کند (آرنوف ۱۳۹۰). ابزارهای سنجش از دور، انرژی را در بخش‌های فرابنفش، مرئی، مادون قرمز و ریزموج طیف الکترومغناطیسی از طول موج ۰/۳ میکرومتر تا ۳۰ سانتی‌متر آشکار می‌سازد (۱). بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس در کشاورزی کاربرد دارد. این باندهای طیفی شامل نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و یک یا چند باند مادون قرمز میانی است (۹). در سنجش از دور کاربردی، با استفاده از باندهای طیفی، شاخص‌های پوشش گیاهی به منظور ارزیابی کمی و کیفی غیرتخریبی پوشش‌های گیاهی پیشنهاد و معرفی شده‌اند (۱۸).

تاریخچه

پیشینه‌ی کاربرد سنجش از دور در کشاورزی به حدود یک قرن پیش می‌رسد. در آغاز از عکس‌های هوایی جهت شناسایی و تعیین سطح زیر کشت محصولات زراعی و تهیه نقشه‌های خاکشناسی استفاده می‌شده است (۲۹). پس از جنگ دوم جهانی بررسی وضعیت رشدی و شناسایی گیاهان زراعی و همچنین تمایز پوشش گیاهی دچار تنش از پوشش گیاهی سالم بر روی عکس مادون قرمز امکان‌پذیر شد (۵). در دهه ۱۹۶۰ هدف شناسایی گیاهان زراعی و سطح زیر کشت آن‌ها بود (۷). پس از پرتاب ماهواره‌ی لندست در سال ۱۹۷۲، استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای برای پایش رشد و برآورد تولید گندم عملی شد و در سال ۱۹۸۰ برنامه دیگری در ادامه و گسترش برنامه پیشین و پایش محصولات زراعی دیگر مانند جو، پنبه، برنج، سویا و ذرت اجرا شد (۲۹). امروزه با طراحی و ساخت سنجنده‌های هوایی و فضایی و پیشرفت قابل ملاحظه علم سنجش از دور، این فن‌آوری جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی پیدا کرده است.

کاربردهای سنجش از دور در کشاورزی

فن‌آوری سنجش از دور در پژوهش‌های محیط زیست و کشاورزی استفاده گسترده‌ای دارد (۱۶ و ۲۹). امروزه از این فن‌آوری در تعیین سطح زیر کشت، پایش رشد و فنولوژی، برآورد کیفیت، تولید و عملکرد گیاهان زراعی، شناسایی بیماری‌ها و آفات، مدیریت آبیاری، بررسی وضعیت تغذیه و کمبود عناصر غذایی، تشخیص تنش‌های محیطی، تهیه آمار کشاورزی، برنامه‌ریزی صادرات و واردات در سطح ملی و برقراری تعادل در بازار محصولات استفاده می‌شود.

سنجش از دور و زراعت چغندر قند و نیشکر

در صنعت قند برآورد عملکرد و تولید گیاهان قندی دارای اهمیت است زیرا برای فصل فرآوری قند و شکر باید بودجه واقعی به منظور تامین نیروی انسانی و مواد اولیه مورد نیاز پیش‌بینی شود. پیش‌آگاهی از وضعیت تولید در تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه برای زمان عرضه مناسب تولیدات کارخانجات قند و شکر و همچنین برنامه‌ریزی صادرات و واردات و تنظیم بازار داخلی در سطح ملی موثر است.

به طور حتم این برآوردها و پیش‌بینی‌ها باید در زمان مناسبی پیش از برداشت محصول انجام شود تا فرصت کافی برای برنامه‌ریزی‌های هدفمند وجود داشته باشد. داده‌های سنجش از دور با فراهم آوردن اطلاعات در سطح منطقه و با قابلیت تکرار زمانی توانایی برآورد عملکرد چغندر قند و نیشکر و تولید نهایی را دارند.

تعیین سطح زیر کشت

تعیین سطح زیر کشت در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها اهمیت بسیار دارد. سنجش از دور می‌تواند با تشخیص گیاه زراعی و سطح زیر کشت آن، اطلاعات مفیدی برای متخصصان مربوطه در صنعت قند کشور و وزارت جهاد کشاورزی فراهم آورد. اگرچه تا کنون در داخل کشور در این مورد برنامه مدون و دنباله‌داری انجام نشده است، اما پروژه پایش کشاورزی توسط سنجش از دور در اتحادیه اروپا و بر روی گیاهان زراعی مختلف از جمله چغندر قند موفقیت‌آمیز بوده است (۶). با بکارگیری تصاویر سنجنده‌های مختلف سطح زیر کشت نیشکر نیز با دقت بسیار مناسبی (بیش از ۹۰ درصد) برآورد شده است (۸). با توجه به اهمیت تشخیص ارقام نیشکر در پیش‌بینی عملکرد و ارزیابی خسارت به محصول، سنجش از دور در این زمینه نیز توانسته است در شناسایی ارقام در کشورهای مختلف از جمله آفریقای جنوبی، برزیل، استرالیا و آمریکا نقش مهمی را ایفا نماید (۳).

برآورد عملکرد و پیش‌بینی تولید

بیشترین پژوهش‌ها در مورد کاربرد سنجش از دور بر روی عملکرد انجام شده است. این کار توسط استفاده مستقیم از داده‌های سنجش از دور، تلفیق داده‌های سنجش از دور با داده‌های اقلیمی و استفاده از داده‌های سنجش از دور به عنوان متغیر ورودی مدل‌های رشد زراعی انجام شده است (۱۶).

از نسبت باند مادون قرمز به باند قرمز در گیاهان چغندر قند سالم، درصد پوشش زمین تعیین گردید که با تابش فعال فتوسنتزی دریافتی توسط اندام هوایی گیاه رابطه خطی داشت (۳۴). تابش فعال فتوسنتزی دریافتی متغیری برای محاسبه عملکرد چغندر قند در مدل رشد بود. همچنین با استفاده از داده‌های با فاصله ۱۰ روزه در طول فصل رشد، پایش مناسبی از شاخص سطح برگ صورت گرفت و با کالیبره کردن مدل رشد زراعی برآورد قابل قبولی از عملکرد ریشه در زمان برداشت ارائه شد (۱۱). در سطوح مختلف کودی نیز استفاده از شاخص برگرفته شده از دو باند قرمز و مادون قرمز در ماه آگوست جهت برآورد عملکرد چغندر قند مناسب بود (۳۱). در سطح ملی و منطقه‌ای استفاده از مدل رشد و اندازه‌گیری‌های طیفی سایه‌انداز گیاهی به عنوان سامانه پیش‌بینی تولید پیشنهاد شد (۲۲).

رهیافت ساده‌ای براساس تابش فعال فتوسنتزی دریافتی نتایج امید بخشی برای پایش رشد و پیش‌بینی عملکرد چغندر قند به همراه داشت (۱۰). زمان بسته شدن سایه‌انداز که حدود ۹۲ درصد تابش فعال فتوسنتزی دریافت می‌شود و مصادف با پایان ژوئن و آغاز جولای است با عملکرد نهایی مرتبط بود. در این پژوهش از یک شاخص پوشش گیاهی حاصل از داده‌های سنجش از دور استفاده شد که از مدل‌های کالیبره شده و برآوردهای شاخص سطح برگ دقیق‌تر بود.

سنجش از دور برآوردی واقعی از رشد چغندر قند در مناطق گسترده و در زمان‌های مختلفی از دوره رشد را فراهم می‌آورد که بر استفاده از مدل‌های رشد به تنهایی در این مناطق به دلیل تفاوت زیاد بین مزارع و مشکلات تعیین مقدار برخی پارامترها برتری دارد (۱۴). این مدل‌ها در پیش‌بینی دقیق رشد گیاه زراعی در شرایط غیر معمول ناتوان هستند و خطای زیادی را سبب می‌شوند.

در ژانویه عملکرد ریشه چغندر قند را سه ماه پیش از برداشت برآورد نمودند (۱۹). در این مطالعه مشخص شد مزارع با رشد زیاد اندام هوایی در جولای عملکرد بیشتری در زمان برداشت دارند و استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی برگرفته از داده‌های سنجش از دور به همراه عوامل اقلیمی را جهت کاربرد موفقیت‌آمیز پیشنهاد دادند. بر اساس مطالعات پیوسته و استفاده از سنجش از دور و داده‌های اقلیمی برنامه "تهیه سامانه پشتیبانی کشت چغندر قند توسط اطلاعات مکانی کشاورزی" را بنا نهاده شد (۲۰).

مدل برآورد عملکرد نیشکر نیز با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف تهیه و ارزیابی شد. نتایج مدل برآورد عملکرد در تایلند در مقیاس بزرگ و فصل‌های بارانی موفقیت‌آمیز گزارش شد (۱۵). در برزیل پایش رشد از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های هواشناسی ممکن شد (۱۲). در این مطالعه دقت برآورد عملکرد در مزارع بزرگ افزایش قابل توجهی یافت. در برزیل از همبستگی ساده بین شاخص پوشش گیاهی و شاخص آگروکلیمایی برای برآورد عملکرد استفاده شد (۱۳). برآورد عملکرد نیشکر در آمریکا با استفاده از درجه روز جمعی همراه با شاخص پوشش گیاهی انجام شد (۲۵). در کنیا استفاده از میانگین وزنی شاخص پوشش گیاهی جهت برآورد عملکرد نیشکر مناسب بود و خطای مدل کمتر از پنج تن نی در هکتار بود (۲۸).

برآورد کیفیت

با توجه به اهمیت مقدار قند در زراعت چغندر قند امکان برآورد این صفت نیز بررسی شده است. در سطوح مختلف نیتروژن شاخص‌های سنجش از دور همبستگی زیادی با مقدار قند قابل استحصال داشت، اما نتوانست برای برآورد دیگر پارامترهای کیفی مقدار سدیم، پتاسیم، نیتروژن آمینه و مقدار قند ملاس به کار رود (۲۱). پیشنهاد شد بهترین برآورد مقدار قند قابل استحصال با یک تصویر در نیمه آگوست امکان‌پذیر است. همچنین از داده‌های چندطیفی جهت تعیین نقشه تغییرات کیفیت چغندر قند در مزارع سالم و تغییرات مکانی نیتروژن می‌توان استفاده نمود.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور در زراعت چغندر قند انتخاب مزارع با مقدار قند بیشتر جهت برداشت‌های زودتر است (۲۳). در صورت آگاهی کامل از وضعیت بیماری، علف‌هرز و تراکم بوته می‌توان اثرات همراه کننده خطاها را در برآورد مقدار قند کاهش داد. بسته به ویژگی رقم کاشته شده، زمان یا زمان‌های مناسب تصویر برداری و شاخص‌های مناسب را می‌توان تعریف نمود.

شناسایی بیماری‌ها و آفات

سنجش از دور برای شناسایی و تشخیص غیر تخریبی بیماری‌های گیاهی در پیش از نمایان شدن نشانه‌های بیماری کاربرد دارد. بازتاب فراطیفی سایه‌انداز و ابرطیفی برگ جهت آسانی تشخیص بیماری ریزومانیا استفاده شد (۳۳). این فن‌آوری توانست فزون بر جداسازی گیاهان سالم از آلوده، گیاهان بیمار بدون نشانه بیماری و ظاهراً سالم را از گیاهان سالم تشخیص دهد.

بازتاب گیاهان سالم در مقایسه با گیاهان دارای بیماری ریزوکتونیا در قسمت عمده طیف به ویژه در بخش مادون قرمز نزدیک به روشنی بیش‌تر بود و از شاخص‌های فراطیفی و ابر طیفی جهت شناسایی این بیماری استفاده شد (۲۴). این توانایی جهت شناسایی نماتود سیستی، بیماری‌های سفیدک سطحی، زنگ، سرکوسپورا و رامولاریای چغندر قند به طور موفقیت‌آمیزی استفاده شد (۱۷) و (۲۶).

با استفاده از ویژگی‌های رنگدانه‌های گیاهی و ساختمان درونی برگ تشخیص بیماری زنگ نارنجی نیشکر در استرالیا ممکن شد (۴). همچنین توانایی تشخیص نقاط آلوده به بیماری و حشرات آفت و برآورد خسارت آنها نیز با استفاده از تصاویر سنجنده‌ها وجود دارد.

مدیریت تغذیه

با کاربرد مناسب کود مورد نیاز و بر حسب عملکرد پتانسیل گیاه زراعی می‌توان کارایی استفاده از کودها و عناصر غذایی را افزایش داد. سنجش از دور با پایش وضعیت موجودی عناصر در طول دوره رشد سبب کاربرد بهینه کودها و جلوگیری از هدررفت نهاده‌ها و حفظ محیط زیست می‌شود (۱۶). این موضوع در عملکرد و کیفیت چغندر قند که به شدت تحت تاثیر مصرف کودهای معدنی است اهمیت شایانی دارد. در ژاپن با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پایش رشد چغندر قند و برآورد عملکرد و مقدار قند توانسته‌اند کود نیتروژنه مورد نیاز را تامین و وضعیت تولید را بهبود بخشند (۳۰).

مدیریت آب

آگاهی از وضعیت رطوبت خاک در تصمیم‌گیری‌های دقیق به منظور برنامه‌ریزی آبیاری، مصرف بهینه آب و جلوگیری از بروز تنش کم آبی اهمیت کلیدی دارد. سنجش از دور در فراهم نمودن اطلاعات مفید و کارآمد جهت مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری موفق بوده است (۲۷). در چغندر قند و نیشکر شاخص‌های برگرفته از سنجش از دور در تعیین محتوای نسبی آب برگ به عنوان شاخصی برای تنش کم‌آبی و برآورد تبخیر و تعرق موفق بودند (۳ و ۳۲). همچنین پایش تنش شوری، تعیین نقاط خسارت دیده از تنش و وضعیت پراکنش شوری در مزرعه نیشکر با استفاده از سنجش دور انجام شده است (۳۵).

نتیجه‌گیری

استفاده از دانش و فن‌آوری‌های نوین در افزایش کارایی از منابع تولید و تهاده‌ها و بیشینه کردن تولید گیاهان زراعی بسیار ضروری است. کاربرد سنجش از دور به دلیل دسترسی سریع به اطلاعات، بهنگام بودن و امکان آشکارنمودن تغییرات سریع سایه‌اندازهای گیاهی در برنامه ریزی و مدیریت بهینه کشاورزی منافع بسیاری دارد. با استفاده از این فن‌آوری می‌توان با آگاهی از وضعیت تولید و سطح زیر کشت گیاهان زراعی جهت تامین محصولات استراتژیک برنامه‌ریزی دقیق نمود، ضمن این که با توجه به توان تولیدی کشور نهاده‌های مصرفی را به طور بهینه مدیریت نمود. این جنبه‌های کاربردی در کشور در حال توسعه ما که در بحران کم‌آبی و محدودیت نهاده‌های مصرفی است اهمیت دوچندانی پیدا می‌نماید.

منابع مورد استفاده

۱. آرونف، ا. ۱۳۹۰. سنجش از دور برای مدیران GIS. ترجمه ع. ا. درویش صفت، م. پیروکار و م. رجب‌پور رحمتی. انتشارات دانشگاه تهران. تهران ایران. ۷۱۰ ص.
۲. علوی‌پناه، س. ک. و م. قزل‌سغلی. ۱۳۸۷. کاربردها و رویکردهای جدید داده‌های سنجش از دور چندطیفی و فراطیفی در زراعت. مقالات کلیدی دهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. کرج، ایران. ۱۱۱-۱۳۵.
۳. Abdel-Rahman, E., and Ahmed, F. (2008). The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature. *International Journal of Remote Sensing* 29: 3753-3767
۴. Apan, A., Held, A., Phinn, S., and Markley, J. (2004). Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing* 25: 489-498

- Aronoff, S. (2005). A brief history of remote sensing for earth observation. . In "Remote sensing for GIS managers. " (S. Aronoff, ed.), pp. 9-52. ESRI Press, Redlands, CA .۵
- Baruth, B., Royer, A., Klisch, A., and Genovese, G. (2008). The use of remote sensing within the MARS crop yield monitoring system of the european commission. ISPRS Archives 36 .۶
- Bauer, M. E. (1985). Spectral inputs to crop identification and condition assessment. Proceedings of the IEEE 73: 1071-1085 .۷
- Bégué, A., Degenne, P., Pellegrino, A., Todoroff, P., and Baillarin, F. (2004). Application of remote sensing technology to monitor sugar cane cutting and planting in Guadeloupe (French West Indies). Geomatica, La Habana, Cuba, 11 .۸
- Campbell, J. B. (2002). "Introduction to Remote Sensing," Third /Ed. The Guildford Press, New York .۹
- Clevers, J. G. P. W. (1997). A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. Remote Sensing of Environment 61: 221-228 .۱۰
- Clevers, J. G. P. W., and van Leeuwen, H. J. C. (1996). Combined use of optical and microwave remote sensing data for crop growth monitoring. Remote Sensing of Environment 56: 42-51 .۱۱
- Fernandes, J. L., Rocha, J. V., and Lamparelli, R. A. C. (2011). Sugarcane yield estimates using time series analysis of spot vegetation images. Scientia Agricola 68: 139-146 .۱۲
- Gonçalves, R. R., Zullo Jr, J., Romani, L. A., Nascimento, C. R., and Traina, A. J. (2012). Analysis of NDVI time series using cross-correlation and forecasting methods for monitoring sugarcane fields in Brazil. International Journal of Remote Sensing 33: 4653-4672 .۱۳
- Guérif, M., and Duke, C. (1998). Calibration of the SUCROS emergence and early growth module for sugar beet using optical remote sensing data assimilation. European Journal of Agronomy 9: 127-136 .۱۴
- Gunnula, W., Kosittrakun, M., Righetti, T. L., Weerathaworn, P., and Prabpan, M. (2011). Normalized difference vegetation index relationships with rainfall patterns and yield in small plantings of rain-fed sugarcane. Australian Journal of Crop Science 5: 1845 .۱۵
- Hatfield, J., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., and Walthall, C. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. Agronomy Journal 100: S117-131 .۱۶
- Hillnhütter, C., and Mahlein, A. K. (2008). Neue Ansätze zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Zuckerrübenkrankheiten. Gesunde Pflanzen 60: 143-149 .۱۷
- Hoffmann, C., and Blomberg, M. (2004). Estimation of leaf area index of Beta vulgaris L. based on optical remote sensing data. Journal of Agronomy and Crop Science 190, 197-204 .۱۸
- Hongo, C., and Niwa, K. (2012). Yield prediction of sugar beet through combined use of satellite data and meteorological data. Journal of Agricultural Science 4, 251-261 .۱۹
- Hongo, C., Niwa, K., Yokobori, J., Yamada, R., and Kuwahara, M. (2008). Development of an efficient sugar beet cultivation support system using the agricultural spatial information-prediction of root yield using meteorological data and satellite data. Proceedings of the 41th autumn conference of the remote sensing society of Japan 45: 115-116 .۲۰

- Humburg, D., Lamb, J., Stange, K., and Schmitt, M. (2002). Modeling of sugarbeet quality variables .۲۱
from canopy spectral indices in a fertility trial. *Transactions of the ASAE* 45: 1651-1659
- Jaggard, K. W., and Clark, C. J. A. (1990). Remote sensing to predict the yield of sugar beet in .۲۲
England. In "Application of Remote Sensing in Agriculture." (S. M.D. and J. A. Clark, eds.), Vol. 201-205.
Butterworths Press, London, U.K
- Kulkarni, S. (2003). Modeling sugarbeet quality variables from satellite images and canopy spectral .۲۳
indices. South Dakota State University
- Laudien, R., Bareth, G., and Doluschitz, R. (2004). Comparison of remote sensing based analysis of .۲۴
crop diseases by using high resolution multispectral and hyperspectral data—case study: *Rhizoctonia solani*
in sugar beet. *Geoinformatics*, 670-676
- Lofton, J., Tubana, B. S., Kanke, Y., Teboh, J., Viator, H., and Dalen, M. (2012). Estimating .۲۵
sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index.
Sensors 12: 7529-7547
- Mahlein, A.-K., Steiner, U., Dehne, H.-W., and Oerke, E. C. (2001). Spectral signatures of sugar .۲۶
beet leaves for the detection and differentiation of diseases. *Precision Agriculture* 11: 413-431
- Moran, M. S., Maas, S. J., Vanderbilt, V. C., Barnes, E. M., Miller, S. N., and Clarke, T. R. (2004). .۲۷
Application of image-based remote sensing to irrigated agriculture. In "Remote Sensing for Natural
Resources Management and Environment Monitoring: Manual of Remote Sensing." (S. Ustin, ed.), Vol. 4,
pp. 617-676. John Wiley & Sons, Inc
- Mulianga, B., Bégué, A., Simoes, M., and Todoroff, P. (2013). Forecasting regional sugarcane yield .۲۸
based on time integral and spatial aggregation of MODIS NDVI. *Remote Sensing* 5: 2184-2199
- Nellis, M. D., Price, K. P., and Rundquist, D. (2009). Remote sensing of cropland agriculture. The .۲۹
SAGE Handbook of Remote Sensing 1: 368-380
- Okano, C., Fukuhara, M., Nishimune, A., Hayasaka, M., and N., S. (1995). Estimation of nitrogen .۳۰
absorption amount of sugar beet by Landsat TM data. *Journal of the Japanese Agricultural System Society*.
.11: 11-20
- Saito, G., Yasuda, Y., and Emori, Y. (1991). Estimating Sugar beet Yields by Spectral Radiometer. .۳۱
Asean Pacific Remote Sensing Journal 4: 109-116
- Seelig, H.-D., Hoehn, A., Stodieck, L., Klaus, D., Adams III, W., and Emery, W. (2008). Relations .۳۲
of remote sensing leaf water indices to leaf water thickness in cowpea, bean, and sugarbeet plants. *Remote
Sensing of Environment* 112: 445-455
- Steddom, K., Heidel, G., Jones, D., and Rush, C. (2003). Remote detection of rhizomania in sugar .۳۳
beets. *Phytopathology* 93: 720-726
- Steven, M., Biscoe, P., and Jaggard, K. (1983). Estimation of sugar beet productivity from reflection .۳۴
in the red and infrared spectral bands. *International Journal of Remote Sensing* 4: 325-334
- Wiegand, C., Anderson, G., Lingle, S., and Escobar, D. (1996). Soil salinity effects on crop growth .۳۵
and yield-Illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. *Journal of Plant Physiology*
.148: 418-424