

تعیین سطح زیر کشت و تراکم بوته مزارع چغندر قند با پردازش داده‌های ماهواره‌ای Determination of the cultivated area and plant density of sugar beet fields using satellite data

فرزین فروغی منش*^۱ و محمد عبدالهیان نوقایی^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۰

ف. فروغی منش و م. عبدالهیان نوقایی. ۱۳۹۳. تعیین سطح زیر کشت و تراکم بوته مزارع چغندر قند با پردازش داده‌های ماهواره‌ای. چغندر قند، ۳۰(۲): ۲۲۲-۲۰۷

چکیده

هدف از اجرای این تحقیق تعیین تراکم بوته مزارع چغندر قند دشت قزوین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور بود. با تعیین تراکم بوته می‌توان میزان محصول چغندر قند را در سطح قابل قبول قبل از برداشت برآورد نمود و در نتیجه امکان مدیریت مناسب فرآیندهای صنعتی و کشاورزی تولید شکر فراهم خواهد شد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند با دقت مناسبی جایگزین روش‌های پرهزینه و زمان‌بر میدانی شود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و GeoEye، تراکم بوته مزارع چغندر قند کشت شده در سال زراعی ۱۳۹۰ در بخشی از دشت قزوین تعیین شد. نتایج حاصل از ارزیابی دقت عملیات و مقایسه نقشه‌های تهیه شده از داده‌های سنجش از دور با نمونه‌های زمینی نشان داد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان تراکم بوته مزارع چغندر قند را با اطمینان نسبی برآورد نمود. محاسبات حاصل از داده‌های پژوهش نشان داد که دقت نقشه‌های خروجی برابر ۹۱/۷ درصد با ضریب کاپای برابر ۰/۸۴ می‌باشد. علاوه بر آن داده‌های سنجش از دور قادرند اختلاف تراکم را حتی در بخش‌های مختلف یک مزرعه آشکار نمایند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد متولیان اجرایی کشور همه ساله از روش سنجش از دور برای تخمین دقیق سطح زیر کشت چغندر قند و میزان تولید محصول استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، چغندر قند، سنجش از دور، سنجنده‌های TM و GeoEye، مساحت مزرعه

۱- کارشناس ارشد شرکت قند قزوین- قزوین * - نویسنده مسئول forughimanesh@yahoo.com
۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات چغندر قند- کرج

مقدمه

تعدادی از گیاهان زراعی علاوه بر تولید غذا برای انسان، مواد خام با ارزشی برای فرآیندهای صنعتی تولید می‌کنند (Khodabandeh 1993). امروزه در بسیاری از کشورهای جهان تولید قند یکی از جنبه‌های ضروری اقتصاد کشاورزی به شمار می‌آید و در این میان تنها عوامل اقلیمی هستند که تعیین‌کننده انتخاب یکی از دو گیاه عمده تولیدکننده، یعنی چغندر قند و نیشکر می‌باشد (Arnon 1996). در سال ۱۳۸۹ تولید قند و شکر در ایران از کارخانه‌های چغندری ۵۵۵/۴۸۶ تن و از کارخانه‌های نیشکری ۵۶۸/۴۵۳ تن بوده است (Anonymous 2011). طبق آمار موجود در سال‌های اخیر سطح زیر کشت چغندر قند کاهش پیدا کرده است (Anonymous 2011). به طوری که این کاهش سطح، هم‌زمانی نسبی با روند رو به رشد بهای شکر در بازارهای جهانی را پیدا کرده است (Anonymous 2011).

با توجه به همین امر مدیریت صحیح، افزایش بهره‌وری و برآورد دقیق شرایط مزارع چغندر قند از نظر کشاورزی و صنعتی اهمیت قابل توجهی دارد. به طوری که برآورد نامناسب از میزان تولید این محصول، هر ساله می‌تواند خسارات اقتصادی زیادی را متوجه صنعت قند و شکر در کشور نماید. این زبان می‌تواند شامل فراهم کردن مواد اولیه صنایع تبدیلی چغندر قند و دیگر فرآورده‌های ناشی از فرآوری چغندر قند از یک سو و مدیریت بازرگانی واردات و صادرات شکر کشور را از سویی دیگر در سطح کلان در برگیرد (Anonymous 2011).

تراکم گیاه معمولاً بر حسب تعداد بوته در واحد سطح بیان می‌شود و اجزای عملکرد چغندر قند بر اساس تعداد گیاه در واحد سطح، میانگین وزن ریشه و مقدار قند ریشه تعیین می‌شود (Ebrahimian 1992). داده‌های میدانی به صورت سنتی و قدیمی از مکان‌های کوچک و در فواصل زمانی طولانی جمع‌آوری می‌شوند و از لحاظ نوع و دقت نیز با یکدیگر متفاوت می‌-

باشند. معمولاً اخذ چنین اطلاعاتی مشکل و پرهزینه است و در بسیاری مواقع دسترسی به تمام مزارع برای کارشناسان میسر نمی‌باشد و در صورت میسر بودن اقتصادی نیست. هم‌چنین با توجه به تغییرات پیوسته پوشش گیاهی، دسترسی به داده‌های بهنگام میدانی یا صحرایی با تکرار مناسب بسیار دشوار و محدود است. داده‌های سنجش از دور به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله دید وسیع و یکپارچه، ارائه اطلاعات بهنگام، استفاده از پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال و تنوع اشکال داده‌ها، کم هزینه و سریع بودن پردازش داده‌ها و نیز فراهم کردن امکان مطالعه شرایط منطقه در گذشته قابلیت‌های ویژه‌ای دارند. به همین دلیل سنجش از دور محصولات می‌تواند راه حل مناسبی برای دیده‌بانی مزارع باشد، زیرا قابلیت پوشش سطوح وسیع با تکرار متوالی را دارد. هم‌چنین در طول دوره رشد زمانی که تماس مستقیم فیزیکی با گیاه زراعی مشکل و یا آسیب‌رسان می‌باشد، قابل استفاده خواهد بود (Alavipanah 2003).

روش‌های موجود برآورد محصول با داده‌های سنجش از دور را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم نمود. روش‌های گروه اول بر مبنای ترکیب داده‌های سنجش از دور با مدل‌های فیزیولوژیک گیاهی و هواشناسی کشاورزی عمل می‌کنند. روش‌های گروه دوم مبتنی بر ایجاد رابطه ریاضی مستقیم بین داده‌های ماهواره‌ای و بازده محصول است. برخی از این مدل‌ها تنها از داده‌های ماهواره‌ای کمک می‌گیرند و از نمونه‌های زمینی برای کالیبراسیون مدل استفاده می‌کنند. فرض این مدل‌ها بر این مبنا است که بزرگی انرژی مشاهده شده در داده‌های سنجش از دور مستقیماً با تراکم بوته آن محصول ارتباط دارد. استفاده از این مدل‌ها نسبتاً ساده‌تر است، زیرا رابطه بین داده‌های سنجش از دور و محصول با فرمول ساده‌ای بیان می‌شود و شرایط فیزیولوژیکی گیاه بطور مستقیم وارد معادله نمی‌شود (Zobeiri and Majd 2002).

بوته و شاخص سطح سبز و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI با روش رگرسیون خطی برقرار شد. نتایج نشان دادند که تراکم بوته گندم و جو از مدل با ضریب همبستگی ۰/۵۷ تا ۰/۹۷ قابل برآورد است.

جانسون و همکاران (Johnson *et al.* 2003) نقشه میزان سطح برگ را در تاکستان‌های کالیفرنیا با استفاده از تصاویر ایکنوس (Ikonos) تهیه کردند. اندازه‌گیری زمینی در ۲۴ نقطه انجام شد و رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی ۰/۷۳ میان شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ محاسبه شد. سپس از نقشه‌های ایجاد شده برای مدیریت آبیاری و مدیریت نگهداری مزرعه استفاده شد. مینگهس و همکاران (Minghas *et al.* 2002) در کالیفرنیا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پتانسیل عملکرد ذرت و سویا را در مراحل مختلف رشد در فصل زراعی پیش بینی و نمایش دادند. با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای و نمونه برداری شبکه زمینی، عملکرد محصول را پیش کردند و از نتایج مقدماتی فهمیدند که برآورد پتانسیل عملکرد با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی برای سویا و ذرت امکان‌پذیر است.

اسدی راشد و همکاران (Asadi-rashed *et al.* 2008) در تحقیقی عملکرد گندم آبی دشت قزوین را با استفاده از شاخص سطح برگ تولید شده از تصاویر سنجنده IRS برآورد کردند. در این تحقیق با تلفیق داده‌های زراعی، داده‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی مدلی متشکل از پارامترهای سنجش از دور، شاخص سطح برگ برای تخمین میزان محصول ارائه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده بهترین زمان برای تخمین عملکرد با استفاده از شاخص سطح برگ حاصل از داده‌های ماهواره در نیمه مرحله ساقه‌دهی بود.

یکی از روش‌های مطالعه در زمینه بررسی و پایش پوشش‌های گیاهی، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. این شاخص‌ها یک ترکیب ریاضی از باندهای متعدد تصاویر ماهواره‌ای هستند که از اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند. به‌طور کلی پوشش گیاهی بیشترین بازتاب را در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) داشته و کمترین بازتاب یا بیشترین جذب آن در باند قرمز (R) می‌باشد. بنابراین پیکسل‌هایی از تصویر که اختلاف این دو باند در آنها بیشتر از سایر پیکسل‌هاست، بیان‌گر پوشش گیاهی منطقه می‌باشند. این شاخص‌ها به وسیله یک عملیات ریاضی ساده ارزش پیکسل‌ها در باندهای مختلف را به یک شاخص عددی تغییر می‌دهند (Alizadeh 2003).

در حال حاضر سنجنده‌های متعدد با قابلیت‌های متفاوتی در دسترس قرار دارند که در باندهای مختلف قادر به گرفتن اطلاعات از سطح زمین هستند. اما لزوماً باندهای اولیه این سنجنده‌ها بازگوکننده تمام اطلاعات مورد نیاز طرح‌های مختلف نمی‌باشند به همین دلیل در مطالعات مختلف اقدام به ایجاد باندهای ترکیبی از داده‌های اولیه می‌شود. با این روش می‌توان اطلاعات بیشتری را از داده‌های موجود اخذ نمود. از جمله تکنیک‌های مورد استفاده به این منظور، تکنیک تحلیل مولف‌های اصلی (Principle Component Analysis) PCA می‌باشد. هدف از اجرای الگوریتم PCA، یافتن محورهای جدیدی از فضای ویژگی تصویر است، که بتوانند به بهترین نحو ممکن کلاس‌های موردنظر موجود در تصویر را از هم تفکیک نمایند (Alizadeh 2003).

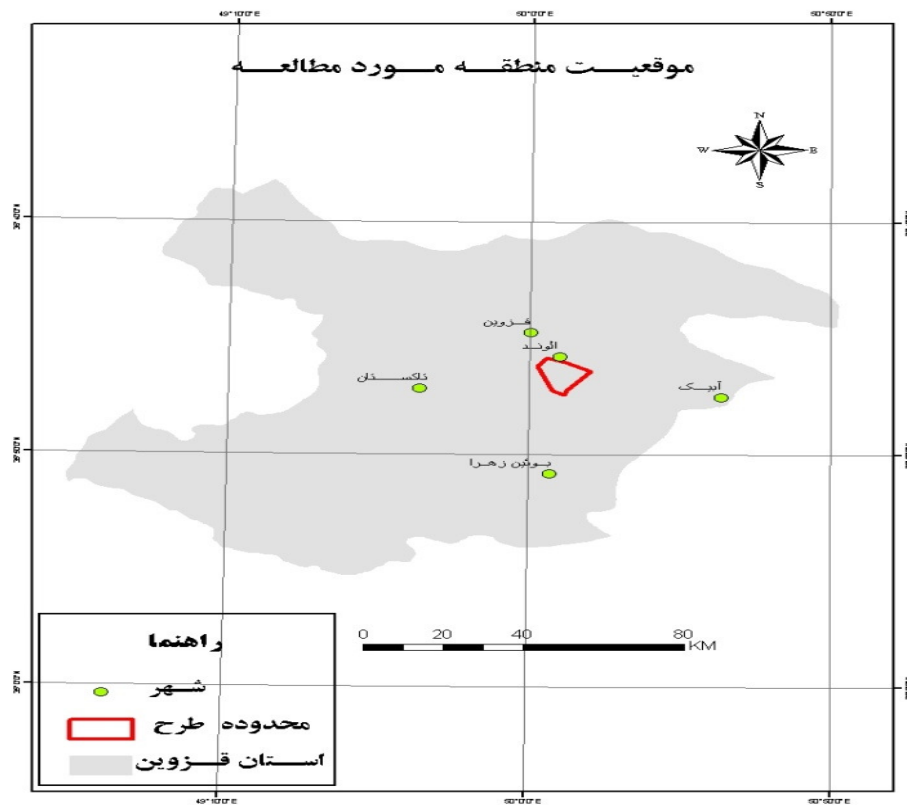
گاوین و همکاران (Gavin *et al.* 2003) در یک دوره چهار ساله تغییرات جوانه‌زنی گندم و جو در سطح را با استفاده از عکس‌های هوایی مطالعه نمودند. نمونه‌برداری زمینی به روش سیستماتیک انجام و ۱۰۰ نمونه برداشت شد. رابطه بین تراکم

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از اراضی تحت مدیریت شرکت قند قزوین واقع در دشت قزوین بود. بخش شرقی دشت قزوین به جلگه تهران می‌پیوندد و نواحی کوهستانی البرز، چهارگر و رامند به شکل نعل اسب از قسمت غرب و شمال، منطقه دشت قزوین را محاط کرده‌اند. دشت قزوین دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۶۶ میلی‌متر و میانگین تبخیر ۱۸۱۸ میلی‌متر است. محدوده مورد مطالعه قسمتی از دشت قزوین در حد فاصل طول‌های شرقی $۱۶^{\circ} ۱' ۵۰''$ تا $۹^{\circ} ۵۹' ۵۰''$ و عرض‌های شمالی $۳۶^{\circ} ۲' ۵۳''$ تا $۳۶^{\circ} ۱۰' ۵۹''$ بود. مساحت منطقه مورد مطالعه $۱۰۳۴۴/۸$ هکتار است که موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

داده‌های سنجش از دور در بیشتر مواقع اطلاعاتی در مورد وضعیت رشد محصولات نیز ارائه می‌نماید. با استفاده از سنجش از دور می‌توان نقشه تراکم بوته مزارع را در سطح وسیع و دقت مناسب تعیین کرد. این هدف از طریق به‌کارگیری شاخص‌های پوشش گیاهی که دارای روابط خطی با شاخص سطح برگ، بیوماس، میزان تراکم بوته و دیگر ویژگی‌های پوشش گیاهی هستند قابل مطالعه خواهد بود.

با توجه به موارد ذکر شده، هدف از اجرای تحقیق حاضر بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور برای تعیین سطح زیر کشت و تراکم بوته مزارع چغندر قند در بخشی از دشت قزوین بوده است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده‌های آبی تا قرمز نزدیک از محدوده طرح مورد مطالعه استفاده شد. علاوه بر این از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه-برداری کشور جهت تصحیح هندسی تصاویر استفاده شد. هم-چنین نمونه‌های زمینی مربوط به انواع تراکم بوته از مزارع چغندرقد منطقه مورد مطالعه برداشت شد.

پیش پردازش

در مرحله پیش پردازش، تصاویر از نظر هندسی، اتمسفری و رادیومتریک آماده‌سازی و یا بهینه‌سازی می‌شوند تا قابلیت آن‌ها برای استفاده در مرحله پردازش افزایش یابد. برای تصحیح اثر اتمسفر مقادیر هیستوگرام باندهای مختلف بررسی شدند. با بررسی هیستوگرام‌ها دیده می‌شود که در باندهای یک تا سه تصویر مقادیر درجات روشنایی نزدیک تقریباً از صفر شروع شده-اند، این امر نشان می‌دهد اثر پخش اتمسفری تأثیر چندانی در کیفیت تصویر مورد استفاده نداشته است و به همین دلیل تصحیح اتمسفری انجام نشد. پس از این مرحله دقت هندسی تصاویر با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری بهبود داده شد. تصحیح هندسی با استفاده از معادلات چند جمله‌ای درجه اول و نمونه‌برداری مجدد به روش نزدیکترین همسایه اجرا شده است تا مقادیر درجات روشنایی پیکسل‌های تصویر، حداقل تغییر را داشته باشند.

در تصاویر ماهواره Geo-Eye نتایج بررسی‌ها نشان داد که تصاویر از نظر وضعیت رادیومتریک در سطح مناسبی قرار داشته و توسط ایستگاه‌های اخذ و شرکت‌های ارائه کننده داده‌ها، بسیاری از اصلاحات رادیومتریک اولیه اعمال شده است. برای تصحیح اتمسفریک نیز روش Dark Object Subtraction مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، فرض می‌گردد که تصویر دارای پیکسل‌هایی با ارزش صفر می‌باشد. مانند آب‌های عمیق که در باند NIR بازتاب صفر دارند. بنابراین هرگونه بازتاب باند NIR در این مناطق ناشی از اثر پخش اتمسفری خواهد بود. این مقدار نشان‌دهنده میزان Path Radiance جوی خواهد بود. به این

در این منطقه ۵۴ قطعه مزرعه چغندرقد متعلق به ۲۶ نفر از کشاورزان روستاهای کوچار، الوند و کمال آباد با مساحت ۲۲۷ هکتار وجود داشت. علت انتخاب این محدوده، تنوع مزارع چغندرقد از نظر تراکم بوته بود. در تشخیص کلاس‌های مختلف کاربری اراضی جهت تهیه نقشه دقیق و قابل اطمینان، اقدام به برداشت نمونه‌های زمینی از مزرعه‌های چغندرقد در سطح منطقه گردید. نمونه برداری زمینی با استفاده از دستگاه GPS دستی گارمین مدل Map-76 و در دو مرحله ۱۰ خرداد و ۱۰ مرداد سال ۱۳۹۰ انجام شد. مرحله اول بعد از اتمام عملیات تنک و وجین و تثبیت تراکم بوته و مرحله دوم در اوایل مردادماه پس از پوشش کامل ردیف‌های کشت چغندرقد صورت گرفت. نقاط نمونه-برداری زمینی به‌عنوان داده‌های کنترل، جهت ارزیابی دقت و استفاده در تفسیرها و تحلیل‌های مراحل مختلف قرار گرفت.

در تعیین و استفاده از این نقاط و بازدید میدانی، پراکنش نقاط، نوع پوشش غالب، شرایط رویش گیاهان مختلف، وضعیت شیب و ناهمواری هر محدوده مورد توجه قرار گرفته است. برای آن‌که نمونه‌های برداشت شده برای استفاده در تمام روش‌های طبقه‌بندی قابل استفاده باشد لازم است تا شرط نرمال بودن نمونه‌ها رعایت شود. موقعیت نقاط نمونه‌برداری بر روی زمین به نحوی انتخاب گردید که نمونه برداشت شده برای هر کلاس بتواند معرف پیکسل‌های خاص آن کلاس باشد. بر حسب نیاز در مراحل مختلف مطالعه، از اطلاعات تکمیلی و تجارب کارشناسی خبرگان نیز استفاده گردید.

داده‌های مورد استفاده

برای اجرای تحقیق از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به تاریخ اول آگوست ۲۰۱۱ (مطابق ۱۰ مرداد ماه سال ۱۳۹۰) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و در شش باند طیفی در محدوده‌های طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک، و همچنین تصویر GeoEye در تاریخ اول ژوئن ۲۰۱۱ (مطابق ۱۰ خرداد ماه ۱۳۹۰) با توان تفکیک مکانی ۱/۶۵ متر و چهار باند طیفی در

Geomatica PCI 9.0 و ENVI 4.8 و ArcGIS9.3 انجام شده است.

شاخص‌های گیاهی

یکی از روش‌های مطالعه در زمینه بررسی و پایش پوشش‌های گیاهی، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. این شاخص‌ها یک ترکیب ریاضی از باندهای متعدد تصاویر ماهواره‌ای هستند که از اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند (Zobeiri and Majd 2002). به طور کلی پوشش گیاهی سالم بیشترین بازتاب را در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) داشته و کمترین بازتاب یا بیشترین جذب آن در باند قرمز (R) می‌باشد. بنابراین پیکسل‌هایی از تصویر که اختلاف این دو باند در آنها بیشتر از سایر پیکسل‌هاست، می‌تواند بیان‌گر پوشش گیاهی منطقه باشد، این شاخص‌ها بوسیله یک عملیات ریاضی ساده ارزش پیکسل‌ها در باندهای مختلف را به یک شاخص عددی تغییر می‌دهند. از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی می‌توان به شاخص‌های جدول ۱ اشاره نمود که در تحقیق حاضر محاسبه شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از این شاخص‌ها کمک می‌کند ویژگی‌های پوشش گیاهی در تصویر بهتر آشکار شده و شناسایی و مطالعه آنها بهبود یابد.

ترتیب، اختلاف واقعی DN این مناطق از صفر محاسبه شده و از DN‌های کل تصویر کسر می‌گردد. جهت تصحیح دقیق تصاویر Geo-Eye نیز با بهره‌گیری از نقاط کنترل زمینی دقیق، اقدام به انجام تصحیحات دقیق منطقه گردید.

پردازش

ایجاد باندهای جدید

در حال حاضر سنجنده‌های متعدد با قابلیت‌های متفاوتی در دسترس قرار دارند که در باندهای مختلف قادر به اخذ اطلاعات از سطح زمین هستند. اما لزوماً باندهای اولیه این سنجنده‌ها بازگو کننده تمام اطلاعات مورد نیاز طرح‌های مختلف نمی‌باشند به همین دلیل در مطالعات مختلف اقدام به ایجاد باندهای جدید از داده‌های اولیه می‌شود. با این روش می‌توان اطلاعات بیشتری را از داده‌های موجود اخذ نمود. از جمله تکنیک‌های مورد استفاده به این منظور، تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) می‌باشد. هدف از اجرای الگوریتم PCA، یافتن محورهای جدیدی از فضای ویژگی تصویر است، که به توانند به بهترین نحو ممکن کلاس‌های موردنظر موجود در تصویر را از هم تفکیک نمایند. کلیه مراحل انجام تصحیحات و پردازش داده‌ها و استخراج و ارائه خروجی‌ها با استفاده از نرم افزارهای

جدول ۱ نحوه محاسبه و اسامی شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی

| نام اختصاری | نام شاخص | نحوه محاسبه شاخص |
|-------------|--|--|
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index | $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ |
| SR | Simple Ratio | $SR = \frac{NIR}{R}$ |
| EVI | Enhanced Vegetation Index | $EVI = 2.5 \left(\frac{NIR - R}{NIR + 6R - 7.5B} \right)$ |
| GVI | Green Vegetation Index | $GVI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$ |

تفکیک مزارع چغندر قند

برای تفکیک اراضی تحت کشت چغندر قند ابتدا شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی محاسبه شد و به صورت یک باند جدید با سایر باندهای تصویر ترکیب شد. سپس با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی به صورت چند مرحله‌ای مزارع چغندر قند تفکیک شدند. به این صورت که در مرحله اول نواحی بدون پوشش گیاهی با استفاده از روش طبقه‌بندی Decision tree از مناطق دارای کاربری کشاورزی تفکیک شدند. در این مرحله اراضی شهری و زمین‌های بایر از زمین‌های کشاورزی جدا شدند و در مرحله بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و توجه به ویژگی‌های طیفی، هر کدام از اراضی کشاورزی به کلاس‌های مختلف تقسیم شدند.

به دلیل آنکه گیاه چغندر قند در تناوب کشت با سایر محصولات کشت می‌شود بنابراین از لحاظ ویژگی‌های خاک با مزارع سایر محصولات زراعی موجود در منطقه اختلاف قابل توجهی نخواهد داشت و بنابراین استفاده از اطلاعات نوع خاک کمک چندانی به تفکیک مزارع نخواهد کرد و لازم است توجه بیشتری به شرایط رویشی گیاهان زراعی و تقویم زراعی انواع محصول در منطقه شود. تفکیک مزارع چغندر قند از سایر مزارع با توجه به اختلاف مراحل فنولوژیکی، رویشی و زراعی آن امکان پذیر خواهد شد. عمده محصولات زراعی موجود در منطقه مورد نظر شامل گندم، جو، ذرت و چغندر قند بوده است. در جدول ۲ تقویم زراعی محصولات مختلف تحت پوشش شبکه آبیاری دشت قزوین ارائه شده است.

شاخص SR از نسبت بازتاب باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده می‌کند. دامنه مقادیر این شاخص از صفر تا بی‌نهایت قرار دارد. به دلیل استفاده از نسبت باندی، اثر اتمسفر، توپوگرافی و تغییرات شرایط تابش تا حدی کاهش یافته است. یکی از بزرگترین محدودیت‌های این شاخص، امکان صفر شدن مخرج کسر می‌باشد. شاخص NDVI یکی از پر کاربردترین و شناخته شده‌ترین شاخص گیاهی است. مقدار این شاخص در محدوده (۱، -۱) متغیر است. در پوشش‌های گیاهی پراکنده، شاخص NDVI به دلیل تأثیرپذیری زیاد از بازتاب خاک زمینه، فاقد کارایی لازم بوده و در پوشش‌های متراکم نیز به دلیل اشباع سریع، ناکارآمد می‌باشد. این شاخص برای مناطق با پوشش گیاهی متوسط بهترین نتیجه را می‌دهد. شاخص EVI نیز برای بهبود شاخص NDVI ارائه شده است. در این شاخص با استفاده از بازتاب باند آبی، اثر خاک تصحیح شده و اثرات اتمسفری کاهش می‌یابد. شاخص GVI نیز از نظر نحوه محاسبه، شبیه NDVI است؛ لیکن اختلاف باند مادون قرمز نزدیک نسبت به باند سبز سنجیده می‌شود (Liang 2004).

همان‌طور که ذکر شد هدف این تحقیق تهیه نقشه تراکم بوته مزارع چغندر قند با استفاده از داده‌ها و روش‌های سنجش از دور می‌باشد. برای نیل به این منظور دو مرحله اجرایی به شرح زیر انجام شده است:

- شناسایی و تفکیک مزارع چغندر قند از سایر پوشش‌های

سطح زمین

- تعیین میزان تراکم بوته مزارع چغندر قند

جدول ۲ تقویم زراعی محصولات مختلف در دشت قزوین

| نام محصول | زمان کاشت | زمان برداشت |
|-------------|-----------------------------|---------------------|
| گندم آبی | ۱۰ مهر تا ۱۰ آبان | ۱۰ تا ۳۰ تیر ماه |
| جو آبی | اول تا ۳۰ مهر | ۱ تا ۱۰ تیر |
| حبوبات | ۱۰ اسفند تا ۱۰ فروردین | ۱۰ تا ۲۰ تیر |
| یونجه | اول اردیبهشت تا اواخر خرداد | خرداد تا شهریور |
| چغندر قند | ۲۰ فروردین تا ۲۰ اردیبهشت | ۱۵ مهر تا ۵ آبان |
| ذرت دانه‌ای | ۱۵ تا ۳۰ اردیبهشت | ۲۰ شهریور تا ۱۰ مهر |
| سیب زمینی | اول تا ۲۰ اردیبهشت | ۱۵ مهر تا ۵ آبان |

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین

میزان تراکم بوته گیاه در سطح مزرعه بوسیله پلات‌هایی بصورت تصادفی و یا سیستماتیک برآورد می‌شود. با استفاده از موقعیت زمینی هر پلات، موقعیت آن بر روی پیکسل‌های تصویر تعیین می‌شود و سپس رابطه میان تراکم بوته محصول و مقدار درجات روشنایی پیکسل‌های مربوطه به صورت معادلات ریاضی بیان می‌شود. معادله میان تراکم بوته و درجات روشنایی می‌تواند با استفاده از مقادیر اولیه باندهای تصویر و یا مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شده برای هر پیکسل برقرار شود.

به همین منظور برای تعیین تراکم مزارع، شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی برآورد گردیده و رابطه میان این شاخص‌ها و میزان تراکم مزارع بررسی شدند. به این منظور پس از محاسبه شاخص‌ها، در یک مرحله رابطه میان تک تک شاخص‌ها با تراکم بوته گیاه مقایسه شد و در مرحله بعد شاخص‌های پوشش گیاهی به صورت یک تصویر ترکیبی با یکدیگر ترکیب شدند و رابطه میان تراکم محصول به صورت چندمتغیره و بوسیله ماتریس‌های ایجاد شده برای هر پیکسل، مقایسه شدند. هم‌چنین استفاده توأم از باندهای اصلی تصویر، باندهای تبدیل شده و شاخص‌های گیاهی برای برآورد تراکم بوته بررسی شدند.

گیاه چغندر قند از لحاظ شرایط رویشی و زمان کاشت و برداشت اختلاف قابل ملاحظه‌ای با مزارع گندم و جو دارد. به همین دلیل با انتخاب صحیح زمان تصویربرداری، تفکیک مزارع چغندر قند از مزارع گندم و جو به خوبی امکان‌پذیر خواهد بود.

اما در مورد تفکیک مزارع چغندر قند از مزارع ذرت، یونجه و سیب‌زمینی، با توجه به همپوشانی نسبتاً بالای تقویم زراعی این محصولات نمی‌توان تنها با استفاده از زمان تصویر نسبت به تفکیک این مزارع از چغندر قند اقدام نمود. بنابراین لازم خواهد بود تا با توجه به شرایط رویشی و فنولوژیک این دو گیاه در طول دوره رویش، آنها را از یکدیگر تفکیک نمود. مناسب‌ترین روش برای دستیابی به این هدف استفاده از تصاویر دو زمانه است. از آنجایی که تغییرات رویشی و فتوسنتزی گیاهان مختلف در طول دوره رشد یکسان نیست می‌توان با اخذ تصاویر مربوط به دو زمان متفاوت این اختلافات رشدی را بارز نموده و از آن برای تفکیک محصولات استفاده نمود. به همین دلیل در این تحقیق از تصویر GeoEye و TM مربوط به ماه‌های مختلف، با یکدیگر ترکیب شده و هم‌زمان برای تفکیک مزارع چغندر قند از سایر مزارع استفاده شده است.

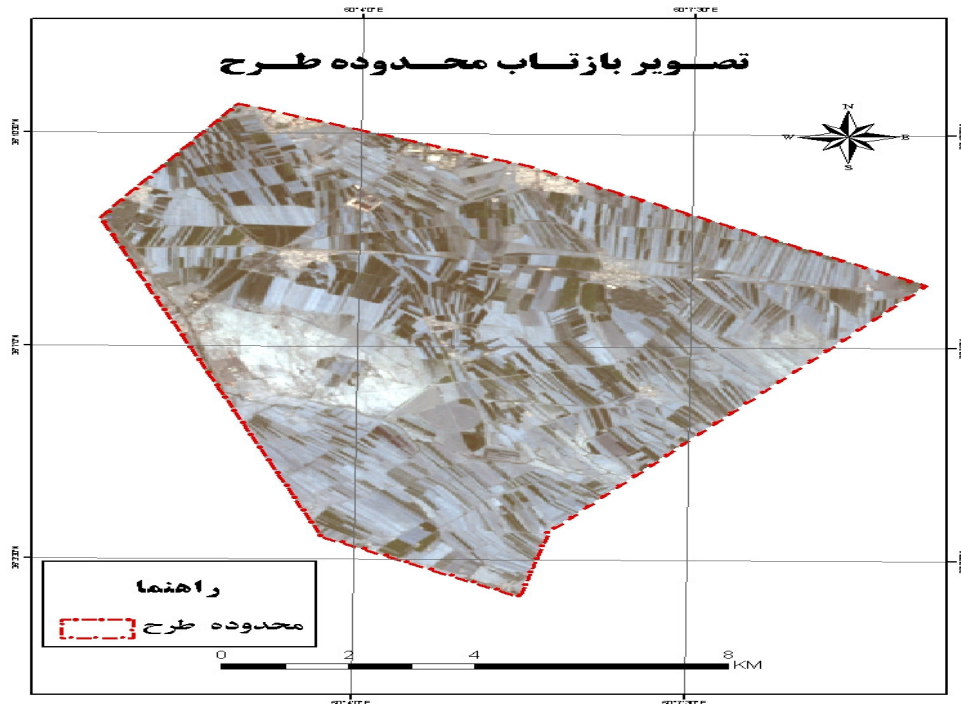
تعیین تراکم بوته مزارع چغندر قند

نتایج

تصحیح رادیومتریک

امکان وارد کردن شرایط تابش و تصویر برداری را هنگام استفاده از تصویر میسر می‌کند و به این ترتیب نتایج مناسب‌تری از تصویر حاصل خواهد کرد (Richards 2006).

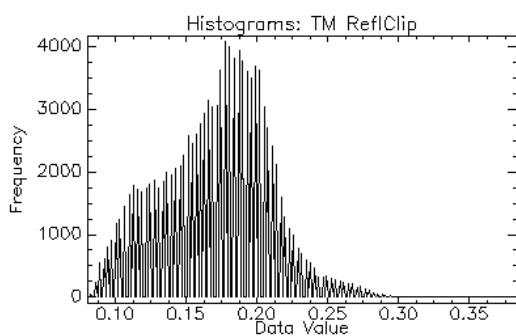
با کمک اطلاعات تصویر TM مورد استفاده در طرح، مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌های تصویر به رادیانس و سپس به بازتاب تبدیل شدند. شکل ۲ تصویر بازتاب را نشان می‌دهد. استفاده از مقادیر بازتاب، به جای درجات روشنایی اولیه تصویر



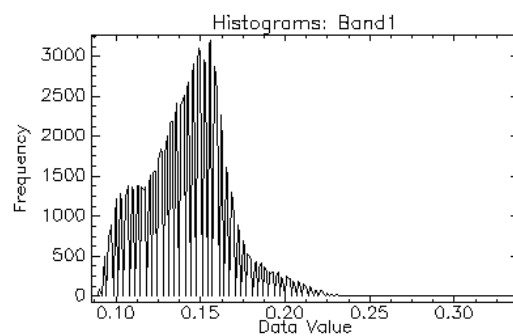
شکل ۲ تصویر بازتاب TM منطقه مورد مطالعه (در ترکیب باندی 4,3,2: RGB)

مقادیر روشنایی نزدیک تقریباً از صفر شروع شده اند، بنابراین اثر پخش اتمسفری تأثیر چندانی در کیفیت تصویر مورد استفاده نداشته است و بنابراین نیازی به تصحیح اثر اتمسفری وجود نخواهد داشت (Jensen 1996).

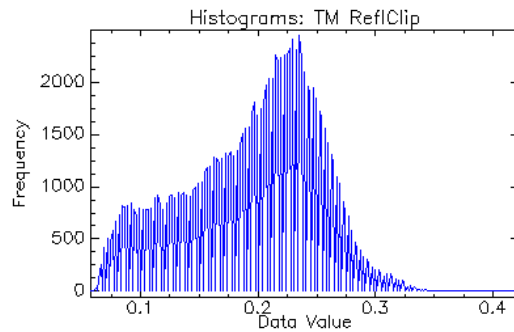
برای تصحیح اثر اتمسفر مقادیر هیستوگرام باندهای مختلف بررسی شدند. شکل‌های ۳ تا ۵ هیستوگرام فراوانی درجات روشنایی را در باندهای مختلف تصویر نشان داده است. با بررسی هیستوگرام دیده می‌شود که در باندهای یک تا سه تصویر



شکل ۴ هیستوگرام باند ۲



شکل ۳ هیستوگرام باند ۱



شکل ۵ هیستوگرام باند ۳

بررسی میزان همبستگی باندها

همبستگی میان باندهای مختلف تصویر بررسی شدند. شکل ۶-های ۶ الی ۱۱ رابطه همبستگی باندهای مختلف تصویر را نشان داده است. در فرآیند پردازش از اطلاعات تمام باندهای تصویر استفاده شده است. اما این هیستوگرام‌ها نشان دادند که پس از آماده‌سازی داده‌ها و انجام تصحیحات اولیه، مرحله پردازش تصاویر و استخراج اطلاعات مورد نظر اجرا گردید. طی این مراحل شاخص‌های مختلف محاسبه شده و تبدیلات باندی اجرا گردیده و از آنها برای استخراج نتایج نهایی بهره‌گیری شد.

اعمال الگوریتم PCA

با اجرای الگوریتم PCA باندهای جدیدی حاصل می‌شود که در آنها سیگنال‌ها در باندهای اولیه قرار گرفته‌اند و باندهای انتهایی دارای نویز بیشتری هستند (Richards 2006). در شکل ۱۲ میزان سیگنال و نویز باندها نشان داده شده است.

با توجه به شیب نمودار در شکل ۱۲، باندهای قابل استفاده که میزان سیگنال بالایی دارند تعیین می‌شوند و تنها از باندهایی استفاده خواهد شد که قبل از شکستگی خط شیب قرار دارند. با توجه به این مطلب سه مولفه اول تبدیل PCA حاوی بیشترین اطلاعات هستند و در مولفه‌های بعدی نویز بیشتری

باند چهار تصویر، حاوی اطلاعاتی است که در سایر باندها وجود ندارد. تصویر باندهای پنج و شش نیز حاوی بیشترین اطلاعات غیر مشترک با سایر باندها هستند. بنابراین استفاده از سه باند چهار و پنج و شش می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار قرار دهد که در سایر باندها وجود ندارد. نسبت به اطلاعات وجود دارد. بنابراین در ادامه تنها از سه مولفه اول PCA استفاده خواهد شد. باندهای حاوی اطلاعات PCA با تصویر اصلی ترکیب شده و از تصویر جدید برای تفکیک کلاس-ها استفاده می‌گردد.

طبقه‌بندی تصویر

برای اجرای طبقه‌بندی باندهای اولیه تصویر و باندهای حاصل از تبدیل مولفه‌های اصلی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی NDVI با یکدیگر ترکیب شده و طبقه‌بندی روی این تصویر ترکیبی، اجرا شده است. در این مرحله از نمونه‌های زمینی برای بهبود و تدقیق نتایج طبقه‌بندی استفاده شده است و کلاس مزارع چغندر قند تفکیک شدند. با وجود آن که قسمت عمده منطقه مورد مطالعه در طرح، اراضی زراعی بوده‌اند اما تنها بخش کمی از این محدوده به مزارع چغندر قند اختصاص یافته است. همچنین این مزارع در یک بخش متمرکز نشده‌اند بلکه

استفاده از نمونه‌های زمینی تراکم بوته برداشت شده از مزارع، شاخص‌های مناسبی که قابلیت تفکیک انواع تراکم بوته را داشته‌اند شناسایی شدند و منحنی طیفی مربوط به مزارع دارای تراکم بوته متفاوت استخراج شده است.

شکل ۱۳ اختلاف منحنی طیفی مربوط به انواع تراکم بوته چغندر قند که از تصویر شاخص‌های گیاهی استخراج شده است را نشان داده است. از این منحنی استنباط می‌شود که بیشترین اختلاف طیفی میان انواع تراکم بوته در تصویر حاصل از شاخص SR مشاهده می‌شود و پس از آن شاخص NDVI بهترین تفکیک را دارد. شکل ۱۴ منحنی طیفی انواع تراکم بوته را که از باندهای اولیه تصویر استخراج شده است نشان می‌دهد. با توجه به این شکل برداشت می‌شود که در باندهای سه، چهار و شش بیشترین تفکیک‌پذیری برای انواع تراکم بوته مشاهده می‌شود. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده باند چهار تصویر اولیه، باند دو تحلیل مولفه‌های اصلی (PC2) و شاخص SR بیشترین اطلاعات را برای برآورد تراکم بوته مزارع چغندر قند فراهم نموده‌اند.

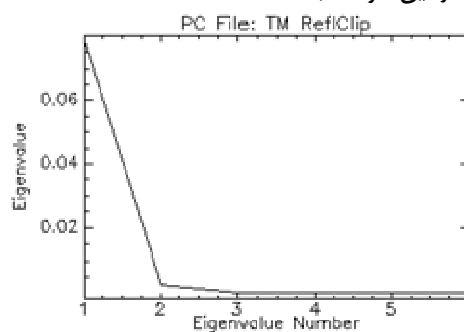
تقریباً در تمام محدوده طرح پراکنده‌اند. نکته دیگر ابعاد متفاوت مزارع چغندر قند در منطقه مورد مطالعه است که تنوع خاصی به این طرح بخشیده است. سطح زیر کشت چغندر قند در منطقه مطالعه حدود ۲۲۶ هکتار برآورد شده است. در شکل ۱۵، عرصه‌های سبز مزارع چغندر قند را نشان می‌دهند.

برآورد تراکم بوته

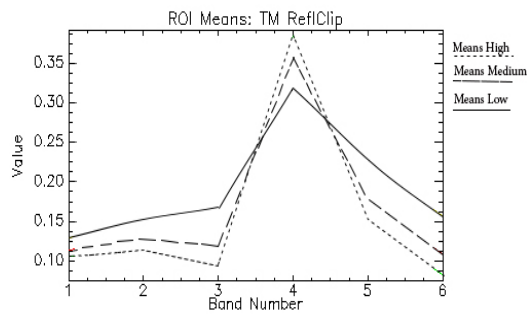
برای برآورد تراکم بوته چغندر قند نسبت میان تراکم بوته و انواع شاخص‌های گیاهی مانند NDVI و SR و EVI و GVI ارزیابی شده است. به این منظور شاخص‌های گیاهی مختلفی محاسبه شدند.

محاسبه شاخص‌های گیاهی

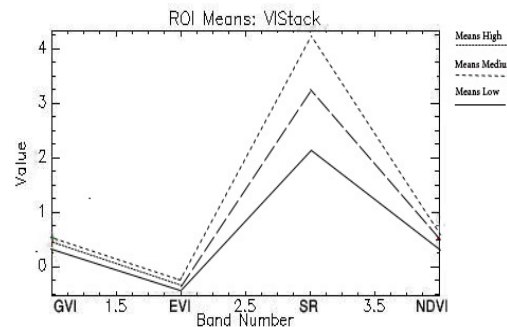
پس از محاسبه انواع شاخص‌های گیاهی برای آن که به نحو بهتری بتوان تراکم بوته چغندر قند را برآورد نمود تصاویر حاصل از شاخص‌های مختلف با یکدیگر ترکیب شدند و تصویر چند باندهای شاخص‌های گیاهی ایجاد شده است. در این مرحله با



شکل ۱۲ تغییرات میزان سیگنال و نویز باندهای حاصل از تبدیل PCA



شکل ۱۴ منحنی طیفی تراکم‌های مختلف بوته چغندر قند استخراج شده از باندهای اولیه تصویر



شکل ۱۳ منحنی طیفی تراکم‌های مختلف بوته چغندر قند استخراج شده از تصویر شاخص‌های گیاهی

شکل ۱۶ طبقه‌بندی تراکم بوته مزارع چغندر قند را نشان داده است. جدول ۳ توزیع انواع تراکم بوته در مزارع چغندر قند در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در بررسی میدانی، مزارع از نظر تعداد بوته در هکتار و عملکرد مورد انتظار، به سه دسته تقسیم شدند. مزارع با تراکم ۷۰ هزار بوته در هکتار به عنوان مزرعه متراکم، مزارع با تراکم ۴۵ هزار بوته در هکتار به عنوان مزارع نیمه متراکم و تراکم ۲۰ هزار بوته در هکتار به عنوان مزارع کم تراکم در نظر گرفته شد.

تهیه نقشه‌های تراکم بوته

پس از تفکیک مزارع چغندر قند از سایر مزارع، تصویر ترکیب شده باندهای اولیه تصویر، باندهای حاصل از تبدیل PCA و شاخص‌های باندی برای تعیین تراکم بوته مزارع طبقه‌بندی شد. در این مرحله از نمونه‌های زمینی برداشت شده و نمودار منحنی طیفی حاصل از این نمونه‌ها، به عنوان داده‌های مرجع برای کالیبراسیون مدل استفاده شده است.

جدول ۳ مساحت برآورد شده مربوط به هریک از محدوده‌ها با مقادیر تراکم بوته چغندر قند

| وضعیت تراکم بوته مزرعه چغندر قند | سطح زیر کشت به هکتار | تعداد بوته (هزار در هکتار) | عملکرد در هکتار (تن) |
|----------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| متراکم | ۹۴/۴ | ۷۰ | ۷۰ |
| نیمه متراکم | ۷۱/۵ | ۴۵ | ۴۵ |
| کم تراکم | ۶۰/۹ | ۲۰ | ۲۰ |

کلی (Overall Accuracy) نقشه تراکم بوته ۹۱/۷ درصد و ضریب کاپای (Kappa Coefficient) آن برابر ۰/۸۴ بدست آمده است. بنابراین نتایج تحقیق نشان می‌دهند که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به خوبی می‌توان تراکم بوته چغندر قند را در سطح مزرعه استخراج نمود.

نتیجه‌گیری و بحث

برای ارزیابی دقت نقشه‌های تراکم بوته حاصل از روش‌های سنجش از دور از تعدادی از نمونه‌های زمینی که در مرحله طبقه‌بندی استفاده نشده است برای ارزیابی دقت استفاده شده است. با مقایسه نمونه‌های زمینی تراکم بوته و نقشه تراکم بوته مقدار دقت کلی و ضریب کاپای محاسبه شده است. دقت

از فاکتورهای محیطی تخمین زد. مستلی و همکاران (Mastali *et al.* 2007) تراکم بوته مزارع ذرت را در ساری با استفاده از تصاویر IRS-1D برآورد نمودند. آنان پس از بررسی تصاویر، NDVI را محاسبه نموده و برای اجرای تحقیق، ۲۰ نمونه زمینی از دو کرت برداشت کردند، سپس رابطه بین تراکم بوته و شاخص NDVI را برآورد نمودند. ارزیابی مدل با ۱۰ نمونه شاهد نشان داد که بین مقادیر تراکم واقعی و برآورد شده توسط مدل در سطح ۰/۰۱ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

در تحقیق حاضر، برآورد تراکم بوته تنها در سطح مزرعه بوده است. به این نحو که تمام سطح مزرعه به یکی از کلاس‌های متراکم، نیمه متراکم و یا کم تراکم نسبت داده شده است. بدیهی است که بخش‌های مختلف در سطح یک مزرعه ممکن است دارای سطوح تراکم گوناگون باشند. بهتر است نمونه‌برداری با استفاده از پلات صورت بگیرد و مقادیر تراکم بوته در سطح این پلات‌ها با مقادیر عددی بیان شود.

در این طرح تراکم بوته چغندر قند تنها در سه کلاس متراکم، نیمه متراکم و کم تراکم مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به این شرایط امکان محاسبه رابطه ریاضی میان بازتاب تصویر و میزان تراکم بوته در سطح مزرعه وجود نداشته است و برآوردها به صورت کیفی بوده است پیشنهاد می‌شود علاوه بر تخمین کلی تراکم بوته در یک مزرعه، تراکم در سطح پلات‌های نمونه به طور دقیق‌تری برآورد شود تا امکان ایجاد روابط ریاضی و تخمین دقیق‌تر محصول ممکن شود.

با توجه به این که سنجش از دور یکی از ارکان کشاورزی دقیق محسوب شود لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات مشابه در مزارع با سطح زیر کشت بالا و در زمینه‌های مختلف از سنجش از دور استفاده شود. ضمناً پیشنهاد می‌گردد متولیان اجرایی کشور همه ساله از روش سنجش از دور برای تخمین دقیق سطح زیر کشت چغندر قند و میزان تولید محصول استفاده کنند تا آمار قابل اعتمادتری در اختیار مسولین و برنامه ریزان کشور قرار گرفته و در نتیجه به موقع در خصوص تامین شکر مورد نیاز کشور اقدام گردد.

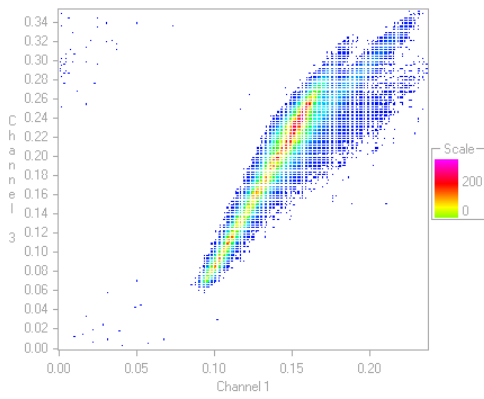
همچنین با استفاده از داده‌های دو زمان ۱۰ خرداد و ۱۰ مرداد سنجش از دور به خوبی مزارع چغندر قند از سایر مزارع تفکیک شدند که دقت کلی این مرحله ۹۵/۴ درصد بوده است. نتایج تحقیق نشان داده‌اند در صورت استفاده از تصاویر مربوط به دو زمان مختلف، مشکل اختلاط طیفی مزارع چغندر قند با سایر مزارع حل خواهد شد. به این صورت که با در نظر گرفتن شرایط فنولوژیک و رویش گیاه چغندر قند نسبت به سایر گیاهان کشت شده همزمان در محل، تصویر مربوط به یک زمان اضافه در زمانی تهیه می‌شود که این گیاهان با یکدیگر اختلاف چشمگیری از نظر میزان رشد و یا سبزیگی و یا مراحل کاشت و برداشت داشته باشند. به این نحو با ترکیب اطلاعات حاصل از دو تصویر، تفکیک مزارع مختلف با دقت مناسب امکان پذیر خواهد شد و وابستگی به نمونه‌برداری زمینی در این مرحله بسیار کاهش خواهد یافت.

نتایج تحقیق نشان داده‌اند که به دلیل ابعاد کوچک مزارع چغندر قند در منطقه مورد مطالعه ضروری است که از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا نظیر SPOT، ETM، TM و یا ASTER استفاده شود. که البته در میان این تصاویر نیز هرچه فاصله بین مزارع در تصویر بالاتر باشد، دقت بررسی افزایش خواهد یافت. این امر با توجه به سطح زیر کشت نسبتاً کم گیاه چغندر قند در مقایسه با سایر محصولات زراعی منطقه اهمیت بیشتری خواهد داشت.

در مطالعه‌ای مشابه، با هدف برآورد سطح زیر کشت گندم، جو و پنبه و با استفاده از تصاویر ماهواره ای TM و Spot در سطح حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع در منطقه گرگان و گنبد پروژه‌ای به اجرا درآمد و پس از شناسایی مزارع مورد نظر، سطح زیر کشت گندم و جو در محدوده جغرافیایی شهرستان بندر ترکمن و گندم، جو و پنبه در محدوده شهرستان گرگان با دقت ۹۵ درصد برآورد گردید (Zobeiri and Majd 2002). همچنین ساواسوا (Sawaswa 2003) طی تحقیقی در هندوستان میزان عملکرد برنج را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور و تعدادی

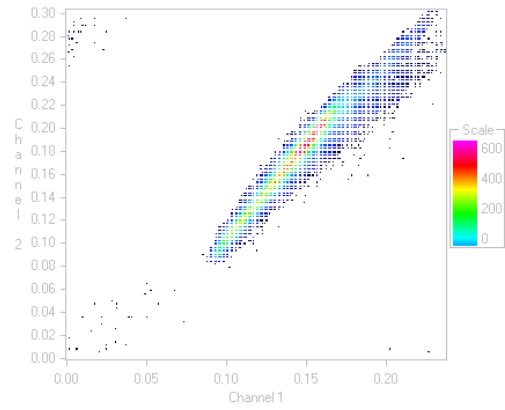
تعیین سطح زیرکشت و تراکم بوته مزارع چغندر قند

Channel 1 versus Channel 3



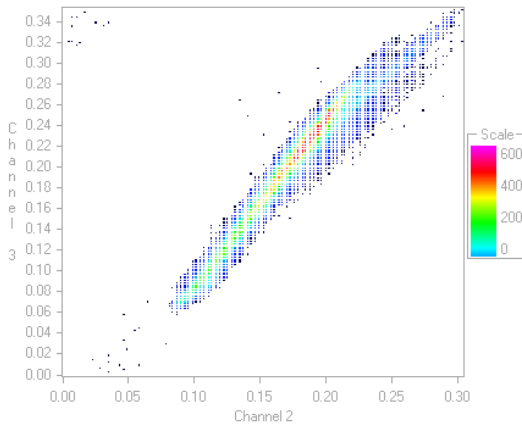
شکل ۷ کنش باندهای ۱ و ۳ (ضریب همبستگی: ۰/۹۴)

Channel 1 versus Channel 2



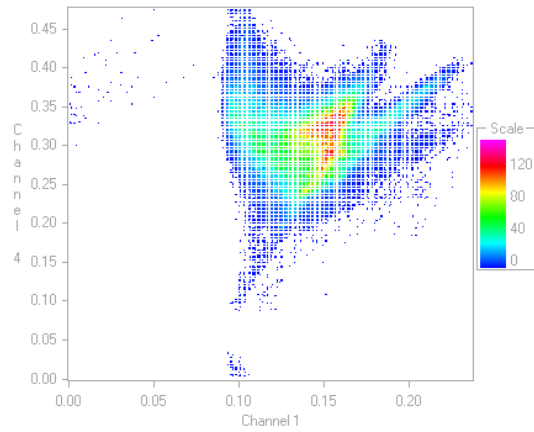
شکل ۶ کنش باندهای ۱ و ۲ (ضریب همبستگی: ۰/۹۸)

Channel 2 versus Channel 3



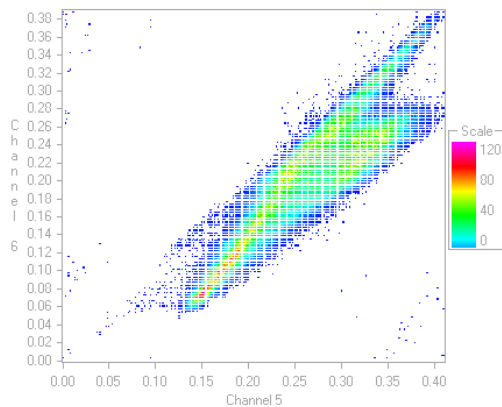
شکل ۹ کنش باندهای ۲ و ۳ (ضریب همبستگی: ۰/۹۸)

Channel 1 versus Channel 4



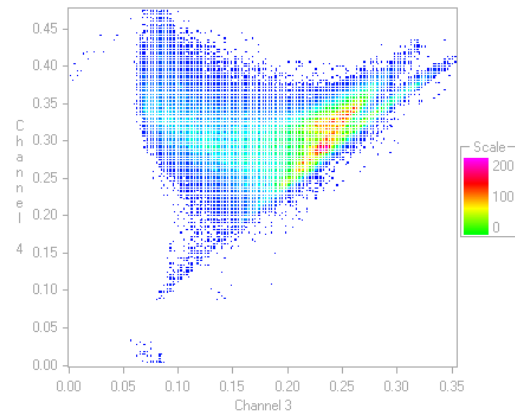
شکل ۸ کنش باندهای ۱ و ۴ (ضریب همبستگی: ۰/۰۸)

Channel 5 versus Channel 6

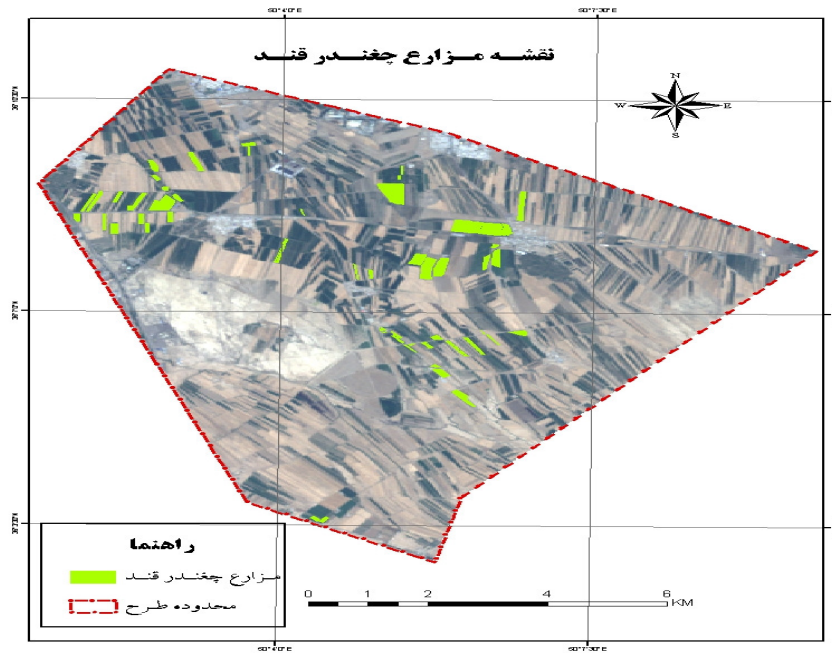


شکل ۱۱ کنش باندهای ۵ و ۶ (ضریب همبستگی: ۰/۹۰)

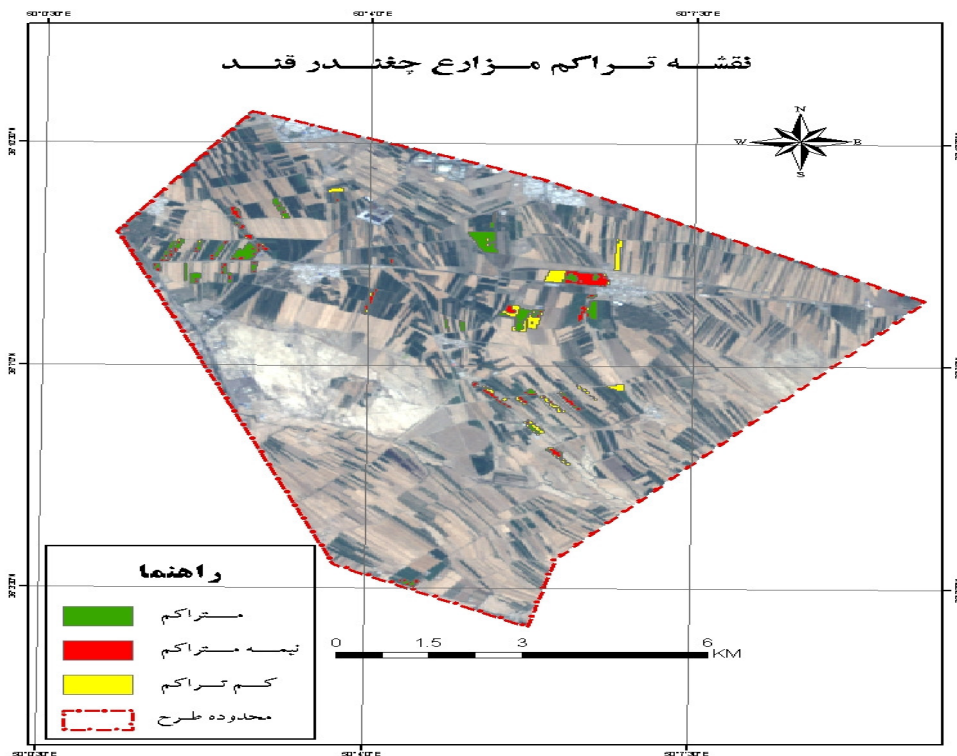
Channel 3 versus Channel 4



شکل ۱۰ کنش باندهای ۳ و ۴ (ضریب همبستگی: ۰/۱۲)



شکل ۱۵ تفکیک مزارع چغندر قند از سایر مزارع



شکل ۱۶ نتیجه طبقه‌بندی مزارع چغندر قند بر اساس تراکم بوته

References:**منابع مورد استفاده:**

- Alavipanah S. Application of remote sensing in earth sciences. Tehran University Publication, 2003; pp. 63. (in Persian)
- Alizadeh H. Introducing in GIS. SAMT Publication, 2002; pp. 217. (in Persian)
- Anonymous. Sugar beet production. Iranian Syndicate of sugar industry. 2011. (in Persian) <http://www.isfs.ir>.
- Arnon I. Crop production in dry regions. Jahad-e-Daneshgahi Publication. 1996; pp 127. (in Persian)
- Asadi-Rashed H, Mirbagheri V, Abkar A. Estimation of Qazvin plain water yield of leaf area index produced using IRS satellite imagery. Geomatic Conference. National Cartographic Organization in Iran. 2008. (in Persian)
- Ebrahimian H. Effect of nitrogen and plant density on sugar beet technological value. Sugar beet Seed Institute. Publication. 1992; P 81. (in Persian)
- Gavin A, John C, Taylor J. Calibration methodology for mapping within-field crop variability using remote sensing. Biosystems Engineering. 2003; 84 (4), 409–423.
- Jensen J. Introductory Digital Image Processing, Prentice- Hall, USA. 1996; pp. 117.
- Johnson L, Roczen F, Youkhana D, Nemani R, Bosch D. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. Computers and Electronics in Agriculture. 2003; 38: 33-44.
- Khodabandeh N. Industrial plants. Tehran University Publication; 1993. pp. 454. (in Persian)
- Liang S. Quantitative Remote Sensing of Land Surface. 2004. John Wiley & Sons, Canada. p 92-99.
- Mastali R. Estimation and evolution of maize plant density per unit area with using of satellite image in NDVI method (MSc thesis). Azad University of Tehran; 2007. (in Persian, abstract in English)
- Minghas Z, Hendley P. Corn and Soybean yield indicators using remotely sensed vegetation indicator. University of California, Davis. 2002; p. 95-116.
- Richards J, Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis, 4th Edition. Springer publication, Berlin, 2006; P. 32-41
- Sawasawa H. Crop yield Estimation. Integrating RS, GPS and Management Factors, ITC Thesis. 2003.
- Zobeiri M, Majd A. Introduction to Mapping Invasive in Natural Science. Tehran University_Publication, 2002; pp. 137. (in Persian)