



سنجش از دور

و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱
Vol.4, No.2, Summer 2012

۷۵-۹۶

تهیه نقشه پراکنش مکانی شالیزارهای برنج با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجنده MODIS ماهواره TERRA

هادی علیزاده^۱، میرمسعود خیرخواه زرکش^۲، علی‌اکبر آبکار^{۳*}، علی‌رضا وفائی‌نژاد^۴، علی صادقی نائینی^۵

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ و ۴. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳. استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۵. کارشناس سنجش از دور سازمان فضایی کشور

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۹/۲۳

چکیده

داده‌های چندطیفی و چندزمانه برای آماده‌سازی اطلاعات مربوط به توزیع مکانی اراضی برنج از آن رو سودمند هستند که تمامی اراضی برنج با توجه به زمان در تقویم زراعی می‌توانند تحت پوشش مخلوطی از آب و خاک باشند. در این مطالعه به شرح و بسط الگوریتمی به منظور شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج، با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI و LSWI_{۲۱.۵} مشتق شده از محصول شاخص‌های پوشش گیاهی ۱۶ روزه MODIS با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (MOD۱۳Q۱) پرداخته شده است. این الگوریتم بر مبنای حساسیت شاخص‌های LSWI_{۲۱.۵} به افزایش رطوبت سطح در مرحله غرقابی، و نشاکاری و NDVI به افزایش محتوای کلروفیل و تاج پوشش گیاه برنج است. برطبق مشاهده‌ها، طی دوره نشاکاری برنج به دلیل غرقاب کردن زمین، شاخص LSWI_{۲۱.۵} افزایش می‌یابد و بعد از رشد برنج از ارزش آن کاسته می‌شود، به گونه‌ای که در همان زمان شاخص NDVI رفتاری معکوس نشان می‌دهد. در این تحقیق دو روش برای تعریف این رابطه بین NDVI و LSWI_{۲۱.۵} به منظور تفکیک مکان شالیزارهای برنج شهرستان آمل در استان مازندران (سال ۱۳۹۰) تکوین گردید. نتایج با استفاده از عملیات میدانی جامعی با برداشت ۱۸۳ نقطه کنترلی برای دو کلاس (برنج - غیربرنج) انجام گرفت و دقت کلی روش‌ها به ترتیب ۶۷/۲۱ و ۸۰/۸۷ درصد بود. نتایج این مطالعه نشان از آن داشت که تهیه نقشه مکانی برنج مبتنی بر MOD۱۳Q۱، بالقوه می‌تواند در مقیاس متوسط برای پایش اراضی کشاورزی برنج براساس زمان اجرا شود.

کلیدواژه‌ها: MODIS، نقشه پراکنش مکانی شالیزارهای برنج، NDVI، LSWI_{۲۱.۵}.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه فتوگرامتری و سنجش

از دور

۱- مقدمه

مهم برای کشاورزی و محیط زیست پایدار، امنیت غذا و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی خسارات ناشی از عوامل قهری / طبیعی و سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی‌ها دارد (Peng et al., 2011; Xiao et al., 2005).

در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰ میلادی مجموعه داده‌های متعددی از شالیزارهای برنج با قدرت تفکیک‌های مکانی بین 0.5° تا 5° شکل گرفت (Aselman 1989; Matthews 1991). آخرین نقشه جهانی برنج نیز با قدرت تفکیک مکانی در حدود 10 کیلومتر (۵ arc minutes) به عنوان بخشی از محصولات زراعی جهان تهیه شد (Leff, 2004). اخیراً هم مطالعاتی بر پایه ماهواره‌های دارای قدرت تفکیک مکانی مناسب به منظور تولید نقشه‌هایی با مقیاس‌های محلی تا منطقه‌ای برای تخمین اراضی شالیزاری برنج، از جمله با استفاده از تصاویر لندست (TM) با قدرت تفکیک مکانی 30 متر و دیگر تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و نیز داده ماهواره‌های مایکروویو (با قدرت تفکیک 18 متر)، صورت گرفته است. نوآرسا و همکاران در سال 2010 از مدلی تجربی برای تهیه نقشه پراکنش شالیزارهای برنج با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست 7 (ETM+) در منطقه بالی اندونزی استفاده کردند. هدف آنها توسعه شاخص گیاهی رشد برنج (RGVI)، تهیه نقشه پراکنش شالیزارهای برنج و مقایسه کمی نتایج به دست آمده از تحلیل و داده‌های مرجع بود. نوآرسا و همکاران تصاویر لندست را از لحاظ دوره زمانی بازگشت و قدرت تفکیک مکانی 15 متر به منظور پایش شالیزارهای برنج، مناسب ارزیابی کردند و به تفکیک اراضی دقت $R^2=0.971$ با استفاده از شاخص ایجاد شده پرداختند لیکن به دلیل خطای SLC-Off، تصاویر سال 2002 را برای اجرای مدل تهیه نقشه پراکنش مکانی شالیزارها به کار گرفتند. هان و همکاران (2006) مساحت اراضی شالیزاری برنج را با داده‌های

برنج ماده غذایی بسیار مهمی در امنیت غذایی جهان به شمار می‌آید و شالیزارهای برنج بیشتر از 11 درصد زمین‌های قابل کشت جهان را در بر می‌گیرند (IRRI, 1993; Maclean, 2002). سهم برنج در تأمین کالری روزانه مردم جهان بیشتر از 20 درصد است، و 90 درصد از تولید و مصرف برنج مختص آسیاست (IRRI, 1993). از مشخصه‌های منحصر به فرد شالیزارهای برنج این است که گیاه برنج در خاک غرقابی رشد می‌کند که این ویژگی از نظر ردیابی نشت گاز و مدیریت منابع آب قابل توجه است شالیزارهای غرقابی برنج به صورت فصلی از منابع عمده انتشار گاز متان به شمار می‌آیند (Denier Van Der Gon, 2000) و بخشی بیشتر از 10 درصد جریان کل متان در اتمسفر را در خود دارند (Houghton, 2001) و این می‌تواند در بردارنده تبعات جدی بر شیمی جوی و اقلیم باشد (Xiao et al., 2005). به علاوه، مدیریت منابع آب اراضی شالیزاری غرقاب برنج با توجه به میزان بالای مصرف می‌تواند باعث افزایش نگرانی‌ها در زمینه آلودگی و پایداری منابع آب باشد (Denier Van Der Gon 2000; FAOSTAT 2001). اطلاعات مربوط به پراکنش مکانی شالیزارهای برنج به عنوان داده‌های اولیه جهت تخمین تولید محصول به همراه تخمین انتشار گاز متان و مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد (Xiao et al., 2005). داده‌های کاربری زمین / پوشش زمین^۱ اطلاعات پایه محیطی را برای بسیاری از علوم، مدیران و برنامه‌ریزان ارائه می‌کند (Wardlow et al., 2007). تفکیک و طبقه‌بندی سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی ابزاری برای تصمیم‌گیری، مدیریت صحیح، تدوین سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های اقتصاد و توسعه کشاورزی در هر منطقه است. یکی از اساسی‌ترین مشکلات در این زمینه، فقدان داده‌ها و اطلاعات بهنگام و بادقت و صحت زیاد و دوره‌های زمانی مناسب است. پایش و نقشه‌برداری اراضی کشاورزی برنج به صورت پیوسته و کارآمد، نقشی بسیار

1. Land Use/Land Cover

MODIS رویکردی را برای تهیه نقشه اراضی شالیزاری برنج در جنوب چین و جنوب و جنوب شرقی آسیا، مبنی بر ارتباط بین شاخص‌های NDVI¹ و EVI² و LSWI³، طی مراحل فنولوژیک غرقاب کردن شالیزارهای برنج و نشاکاری توسعه دادند. در این تحقیق به طور کلی رابطه خوبی بین پراکنش شالیزارهای برنج مشاهده شده به وسیله روش مذکور و الگوی مکانی کشاورزی برنج برگرفته از داده‌های آماری کشاورزی برقرار بود، اگرچه با خطاهای منطقه‌ای معناداری نیز در منطقه مورد مطالعه همراه بود. این خطاها را پنگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ ناشی از سه عامل برشمردند: نخست بی‌توجهی به سیستم چندکشتی برنج، دوم اینکه تمامی پیکسل‌های پوشیده شده با ابر را الگوریتم MODIS ارائه‌شده^۴ در بر نمی‌گرفت، در حالی که این پیکسل‌ها با توجه به زمان تصویر در حدود ۱۰ الی ۴۰ درصد کل اراضی را پوشش می‌دادند. این خود نشان‌دهنده منبعی است با پتانسیل برآورد ناقص از پراکنش مکانی اراضی شالیزاری برنج. سوم اینکه شیوه و رسوم کشت برنج شامل الگوی کشت و دوره رشد در تحقیق ژیاو و همکاران مورد توجه قرار نگرفته است. این امر برای تعریف حد آستانه محلی برای الگوریتم جداسازی برنج بسیار مهم است. پنگ و همکارانش رویکردی بر مبنای MODIS را که ژیاو در سال ۲۰۰۵ ارائه کرد، برای جداسازی و تهیه نقشه اراضی شالیزاری برنج در سیستم‌های کشت بومی و پیچیده و متنوع (تک‌کشتی، زودرس و دیررس) مطابقت و تعمیم دادند. یوچیدا نیز در سال ۲۰۱۰ روشی را به منظور پایش اراضی شالیزاری برنج که در مناطقی با اقلیم مرطوب حاره‌ای واقع شده‌اند، ارائه کرد. در مرحله نخست این روش دو مرحله‌ای، هدف ایجاد نقشه کاربری اراضی است، به طوری که اراضی شالیزاری برنج با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست مشخص

ماهواره منابع زمینی چین - برزیل (CBERS) به دست آوردند (Han, 2006). کاواشیما و اوکاموتو (1999) با ترکیب داده‌های نوری و میکروویو، وسعت اراضی قابل کشت محصولات کشاورزی را با استفاده از داده‌های لندست TM دریافتی در فصل خشک تعیین کردند و به شناسایی اراضی شالیزاری برنج با بهره‌گیری از تصاویر راداری SAR⁻¹ JERS برداشت‌شده در فصل کاشت پرداختند (Okamoto, 1999).

بیشتر این نقشه‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای از شالیزارهای برنج، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر تولید شده‌اند و به دلیل به‌کارگیری تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا دقت نسبتاً خوبی دارند؛ اما این روش‌ها و تصاویر به دلیل قدرت تفکیک زمانی پایین و پوشش مکانی محدود، به خصوص برای مناطق مرطوب - و دارای پوشش ابر، برای اجرا در مقیاس منطقه‌ای مشکل‌ساز و غالب اوقات پرهزینه‌اند. همچنین داده‌های مورد استفاده آنها در زمان حاضر دارای خطا و یا از دسترس خارج‌اند. تصاویر با قدرت تفکیک زمانی ضعیف، اطلاعات معناداری را از ویژگی تغییرات فصلی پوشش زمینی تأمین نمی‌کند، به گونه‌ای که ممکن است منجر به طبقه‌بندی نادرست شوند (Clark et al., 2010; Nuarsa, 2010). لذا با بررسی منابع و انجام مطالعات کتابخانه‌ای، دریافت داده‌های چندزمانه با دوره مناسب برای تهیه نقشه پراکنش مکانی شالیزارهای برنج، بسیار کارآمد است (Xiao et al., 2005). سنجنده MODIS (The Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) می‌تواند به صورت متوالی و جهانی و روزانه و با اندازه‌گیری در قدرت تفکیک مکانی متوسط و بهینه شده برای پایش پوشش‌های گیاهی به کار روند (Huete 2002; Sinkyu 2004). این داده‌ها به‌صورت عمومی و بدون هزینه در دسترس‌اند و به‌منظور بررسی پتانسیل جداسازی و پایش پراکنش اراضی شالیزاری برنج در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای پیشنهاد می‌شوند (Peng et al., 2011). ژیاو و همکارانش (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Enhanced Vegetation Index
3. Land Surface Water Index

شاخص‌های پوشش گیاهی ۱۶ روزه MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده کرد. این روش برای مناطق مرطوب حاره‌ای ارائه گردیده و برای مناطق دیگر ارزیابی نشده است. کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+ تا قبل از سال ۲۰۰۳ و به صورت SLC-ON به دست آمد که باعث بالا بردن دقت نتایج شد؛ اما با توجه به تغییرات در کاربری اراضی و کشاورزی و وجود خطای SLC-OFF که از سال ۲۰۰۳ به بعد در تصاویر ETM+ به وجود آمد، و فقدان تصاویر لندست TM با دوره بازگشت منظم ۱۶ روزه، چه بسا مشکلاتی در زمینه به‌روزرسانی کاربری اراضی وجود داشته باشد.

در این مطالعه به شرح و بسط الگوریتم‌های گذشته برای تهیه نقشه مکانی به منظور شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI و LSWI_{۲۱.۵} مشتق شده از محصول شاخص‌های پوشش گیاهی^۵ ۱۶ روزه MODIS با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (MOD1۳Q1) پرداخته شد. این الگوریتم بر مبنای حساسیت شاخص‌های LSWI_{۲۱.۵} به افزایش رطوبت سطح در مرحله غرقابی و نشاکاری و NDVI به افزایش محتوای کلروفیل و تاج پوشش گیاه برنج است. اراضی شالیزاری با سیستم چندکشتی، الگوی کشت پیچیده و دوره رشد متنوع، متناسب با قدرت تفکیک مکانی محصول MOD1۳Q1 در نظر گرفته شده‌اند. رویکرد اصلی ارائه شده در این تحقیق، بررسی و شناسایی شالیزارهای برنج بر مبنای دو فرضیه در دوره نشاکاری و رشد پس از معرفی موقعیت و خصوصیات منطقه مورد مطالعه و داده‌های به کار گرفته شده است و در ادامه الگوریتم‌هایی به منظور جداسازی شالیزارهای برنج با استفاده از مجموعه‌ای ثابت از پارامترهای مؤثر در تفکیک آنها صرف نظر از نوع

شوند. در این مرحله ۵ شاخص (NDWI, LSWI, NDVI, NDSI, NDBSI) به کار گرفته شده است که می‌تواند نشان‌دهنده شرایط خاص خاک سطح زمین، پوشش گیاهی و آب - برگرفته از داده‌های لندست - باشد که با استفاده از حداکثر ارزش شاخص‌ها در تصاویر چندزمانه، کاربری اراضی را مشخص می‌کند. در مرحله دوم، روشی برای تشخیص زمان کاشت برنج با استفاده از داده‌های MODIS طرح‌ریزی شده است. ناگفته نماند که در این مطالعه، سری زمانی شاخص‌های EVI و NDWI استخراج شده از ترکیبات ۱۶ روزه محصول پوشش گیاهی MODIS (MOD1۳Q1) به کار رفته‌اند.

تحقیقات ژیانو (۲۰۰۵، ۲۰۰۶) و پنگ (۲۰۱۱) نشان داد که با برقراری ارتباط بین شاخص‌های NDVI، EVI و LSWI استخراج شده از محصول بازتاب سطح^۱ MODIS با ترکیب هشت روزه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر (MOD0۹A1)، می‌توان اقدام به تهیه نقشه شالیزارهای برنج و تشخیص شالیزارها از دیگر اراضی زراعی در سطح منطقه‌ای و جهانی طی مرحله غرقابی زمین و نشاکاری برنج کرد (Peng et al. 2011; Xiao et al. 2006; Xiao et al. 2005). الگوریتم ژیانو و همکاران با در نظر نگرفتن سیستم‌های چندکشتی و دوره رشد ارقام برنج در مناطقی با الگوی کشت پیچیده دچار خطا می‌شود. پنگ و همکاران با در نظر گرفتن الگوی کشت پیچیده و دوره رشد در سه دسته کلی زودرس^۲، تک‌کشت^۳ و دیررس^۴ اقدام به بهبود الگوریتم پیش‌گفته کردند. حال با توجه به قدرت تفکیک مکانی محصول MOD0۹A1 استفاده شده که هر پیکسل ۲۵ هکتار را پوشش می‌دهد، باز هم در مناطق دارای الگوی کشت پیچیده خطا به چشم می‌خورد و این الگوریتم تنها در مناطقی با کشت یکپارچه از یک نوع گونه از برنج می‌تواند پاسخگو باشد. یوچیدا با استفاده از ۱۹ تصویر از لندست TM و ETM+ مربوط به ۱۰ سال (۱۹۹۴ الی ۲۰۰۳) به شناسایی اراضی کشاورزی بخش شرقی جزیره جاوا در اندونزی پرداخت و برای شناسایی و استخراج اراضی کشاورزی برنج از تصاویر محصول

1. Surface Reflectance
2. Early rice
3. Single rice
4. Late rice
5. Vegetation Indices

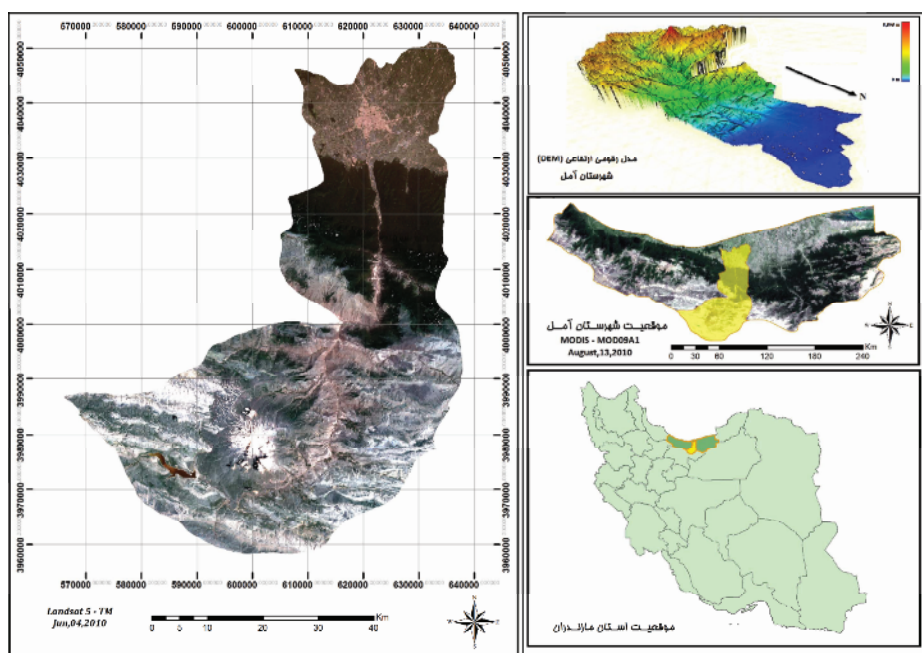
مطالعه انتخاب شد (APERI, 1390). بر مبنای میزان ارتفاع از سطح دریای آزاد و براساس مطالعات طرح توسعه کشاورزی حوضه آبریز هراز این شهرستان به سه قسمت «دشت، میان‌بند، و کوهستانی» تقسیم می‌شود، که در اولی کشت غالب برنج است (شکل ۱). براساس گزارش‌های مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، شلتوک - یا در واقع برنج - اصلی‌ترین محصول زراعی شهرستان آمل به شمار می‌آید و دیگر محصولات کشاورزی از قبیل گندم، جو، لوبیا، عدس، کلزا، سیب‌زمینی، یونجه، شبدر که به صورت دیم و آبی کشت می‌شوند بسیار ناچیزند و هدف از کشت آنها معمولاً بهره‌وری بالا از زمین زراعی در خارج از تقویم زراعی برنج است (APERI, 1390). این شهرستان براساس مستندات کشوری در سال ۱۳۷۹ دارای بخش‌های مرکزی و دابودشت و لاریجان بوده است که منطقه دشت - پیش‌گفته - دربرگیرنده بخش دابودشت و قسمت‌هایی از بخش مرکزی است. بخش دابودشت به دلیل قرار گرفتن در بالادست دارای سیستم دوکشتی برنج با کاشت ارقام محلی است (APERI, 1390).

رقم است. به علاوه، به منظور به حداقل رساندن خطاهای تأثیرگذار بر روش‌های جداسازی شالیزارهای برنج، پارامترهایی چون توپوگرافی و آب‌های ثابت و جنگل در بخش جداسازی عوامل تأثیرگذار بر الگوریتم تفکیک برنج مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام نیز نتایج با استفاده از داده‌های عملیات میدانی و نقشه کاربری اراضی، بررسی شدند و دقت آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان آمل در جلگه مازندران و در دو سوی رود هراز با ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا قرار دارد و دارای مختصات ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی (N 36° 28', E 52° 21') است. این شهرستان به دلیل دارا بودن بیش از ۳۸۴۵۰ هکتار اراضی زیرکشت برنج در سال ۱۳۹۰ برطبق آمار مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی و تنوع الگوی کشت، از لحاظ تنوع ارقام برنج (زودرس، متوسط‌رس، دیررس) به عنوان منطقه مورد



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، شهرستان آمل در استان مازندران

۲-۲- داده‌های استفاده‌شده

۲-۲-۱- داده‌های تصویری MODIS

محصولات مرتبط با زمین و همچنین اتمسفر و اقیانوس MODIS در مرکز NASA's Mission برای پایش و درک سیستم زمین تولید می‌شوند (John J. Qu, 2006). NASA تکوین و تولید پیوسته محصولات MODIS را به صورت سیستم مینا دنبال می‌کند. تولید محصولات با نخستین داده‌های برگرفته از Terra-MODIS در ۲۲ فوریه سال ۲۰۰۰ میلادی شروع شد و با نخستین داده‌ها از Aqua-MODIS در ۲ ژوئیه سال ۲۰۰۲ ادامه یافت (John J. Qu, 2006). محصولات زمین MODIS به ۳ دسته تقسیم می‌شوند: تابشی، اکوسیستم و توصیفگر پوشش زمینی (Christopher Justice, 1998). محصول تابشی برای ارزیابی فیزیکی فرایندهای سطح زمین با درک بهتر از مبادله انرژی سطح / اتمسفر به کار می‌رود. محصول اکوسیستمی پویایی مکانی و زمانی پوشش گیاهی سطح زمین را به دست می‌دهد و ورودی‌ها را برای مدل‌های بهره‌وری (قابلیت تولید) و بیوشیمی تهیه می‌کند. توصیفگرهای پوشش زمینی تغییرات هر دو متغیر انسانی و طبیعی را در چشم‌انداز زمینی محاسبه می‌کنند و به درک علل و تأثیرگذاری‌های تغییرات یاری می‌رسانند (Bhaskar Ramachandran, 2011). تصاویر استفاده شده در این تحقیق محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS است. منطقه مورد مطالعه به دلیل پوشش ابر و رطوبت زیاد، به این الزام دامن می‌زند که ترکیب تصاویر روزانه به کار گرفته شود. محصول شاخص پوشش گیاهی (MOD13) سنجنده MODIS علاوه بر دارا بودن باندهای طیفی، دارای شاخص‌های NDVI و EVI با ترکیب ۱۶ روزه تحت قدرت تفکیک‌های مکانی ۲۵۰ و ۵۰۰ متر نیز هست که در تایل‌های واحد (۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتری) در شبکه SIN^۱ ارائه می‌گردند. در این تحقیق، محصول MOD13Q1 که در مرکز NASA'S Mission برای پایش پوشش گیاهی زمین تولید می‌شود، به عنوان داده‌های اصلی به کار

رفت و تصاویر سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ میلادی مربوط به تایل H_{۲۲}V.۵ از مرکز آرشیو توزیع فعال فرایندهای زمین (<https://Ipdac.usgs.gov/>) LPDAACH گرفته شد. Mob13Q1 دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و حاوی شاخص‌های NDVI و EVI به همراه ۴ باند طیفی قرمز (۶۷۰-۶۲۰nm)، مادون قرمز نزدیک (۸۷۶-۸۴۱nm)، آبی (۴۷۹-۴۵۹nm) و مادون قرمز میانی (۲۱۵۵-۲۱۰۵nm) است. این باندهای طیفی توانایی تولید شاخص حساس به رطوبت سطح (LSWI_{۲۱۰۵}) را نیز دارند. MOD13Q1 با تکیه بر تصاویر محصول روزانه بازتاب سطحی (MOD09) MOD Series) در مرحله پردازشی ۲ (L2G) فایل نقاط کنترل^۳، فایل زاویه خورشید و سنجنده (Geo-Angle) File) و فایل ارزیابی کیفیت (State QA) تولید می‌شود (Huete, 2002). در تصاویر MOD09GQ^۲ تصحیحات اتمسفریک براساس مدل ۶SV^۴ انجام شده‌اند و از آنجا که این تصاویر پایه تولید محصول MOD13Q1 هستند و با توجه به اینکه مدل ۶SV از بهترین مدل‌های تصحیحات اتمسفریک تصاویر ماهواره‌ای است، پردازش‌هایی که بر روی تصاویر MOD13Q1 اعمال می‌شود نیز از این لحاظ کمترین میزان خطا را دارند (Vermote, 2006). تصاویر استفاده شده در این تحقیق دارای مرحله پردازشی ۳ هستند، به گونه‌ای که در دو مرحله پردازش اولیه کالیبراسیون رادیومتریک، Geo-Location، ماسک ابر، تصحیح اتمسفریک، تصحیح هندسی و در شبکه‌های از پیش تعریف‌شده شبکه‌بندی شده‌اند و در مرحله پردازشی سوم علاوه بر باندهای طیفی دو شاخص NDVI و EVI با بالاترین کیفیت تولید گردیده‌اند. به منظور مطالعه سری زمانی برای هر تصویر ۱۶ روزه شاخص LSWI_{۲۱۰۵} با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک (۸۷۶-۸۴۱nm) و مادون

1. Sinusoidal
2. Surface Reflectance Daily Level-2G (MOD09GQ)
3. Pointer File
4. Second Simuuation of the Sensor Signal with Solar Spectrum

داده‌های فنولوژی رشد گیاه از ۷ سایت در منطقه مورد مطالعه (۱- کاپیک، ۲- ناصرآباد، ۳- بورمحل، ۴- شومیا، ۵- کوکده، ۶- عشق‌آباد، ۷- اجوارکلا، و ۸- سورک) با سیستم‌های کشت متنوع و ارقامی با تاریخ‌های نشا و دوره‌های رشد متفاوت (شیرودی - هاشمی - فجر) برداشت شد. داده‌های کاربری اراضی سازمان نقشه‌برداری کشور نیز با مقیاس ۱:۲۵/۰۰۰ برای ارزیابی اراضی شالیزاری شناسایی شده، مورد استفاده قرار گرفت.

۳- روش‌شناسی (متدولوژی)

۳-۱- شناسایی شالیزارهای برنج

شاخص‌ترین خصوصیات فیزیکی شالیزارهای برنج، غرقابی بودن زمین‌هاست. برنج گیاهی یک‌ساله است و چرخه حیات و همچنین مراحل رشد و نمو آن به سه دوره یا مرحله کلی - شامل دوره رشد رویشی (از جوانه‌زنی تا آغاز خوشه اولیه^۳)، دوره رشد زایشی (از تشکیل خوشه اولیه تا گلدهی)، و دوره رسیدگی (از گلدهی تا رسیدن کامل دانه) - تقسیم می‌شود. طول دوره رویش فعال و مفید برنج - از نشاکاری تا برداشت - در استان مازندران حدود ۱۰۰ الی ۱۲۰ روز است و با توجه به محدودیت‌های این منطقه از نظر وقوع بارندگی و کاهش دما و کمبود تابش خورشیدی از نیمه دوم شهریور ماه، ارقام زودرس با دوره رویش کمتر از ۱۰۰ روز سازگارترین ارقام برای این مناطق‌اند. بنابراین در طول دوره زمانی، پویایی خصوصیات شالیزارهای برنج را می‌توان در ۳ دوره بررسی کرد: (۱) دوره آبیگری و نشاکاری، (۲) دوره رشد، و (۳) دوره بعد از برداشت. در ابتدا بازتاب سطحی شالیزارها ترکیبی از آب سطحی و نشای سبز برنج است که از خزانه به زمین اصلی منتقل شده، و دارای ۲۰ الی ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع و ۴ الی ۵ برگ است (Xiao et al., 2005). میزان آب موجود در

قرمز میانی (۲۱۰۵-۲۱۵۵nm) محاسبه شد و به همراه شاخص‌های NDVI و EVI که در محصول MODIS ۱۳Q1 موجود است، بررسی گردید. شاخص‌های NDVI، EVI و LSWI₂₁₀₅ طبق این روابط محاسبه می‌شوند (Ramon Solano, 2010):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه (۲)

$$\text{EVI} = 2/5 \times \frac{(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}})}{(L + \rho_{\text{NIR}} + C1 \times \rho_{\text{RED}} - C2 \times \rho_{\text{BLUE}})}$$

$$\text{LSWI}_{2105} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{MIR}2105}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{MIR}2105}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، ρ بازتابندگی^۱ «سطح» یا «بازتابندگی ظاهری در بالای جو^۲» است، L فاکتور تعدیل پس‌زمینه تاج پوشش با مقدار ۱ و C_1 و C_2 ضرایب مربوط به اثر هواویزها که به ترتیب دارای مقادیر ۶ و ۷/۵ هستند و به کمک باند آبی تأثیر آنها بر باند قرمز تصحیح می‌شوند (Huete, 1996).

۲-۲-۲- داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)

داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر که از ماهواره ASTER به‌دست می‌آیند، از مرکز ASTER GDEM ژاپن (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.op/search.jsp>) برای تعیین نواحی ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه تهیه شدند. این داده‌ها دارای سیستم تصویر جئوگرافیک و فرمت GeoTiff هستند و رایگان ارائه می‌گردند. سیستم تصویر این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Envi به سیستم تصویر UTM تغییر داده شد. داده‌های DEM نیز به‌منظور کاهش تأثیر ارتفاع و شیب بر تخمین اراضی شالیزاری برنج به کار رفتند.

۲-۲-۳- داده‌های عملیات میدانی و کاربری

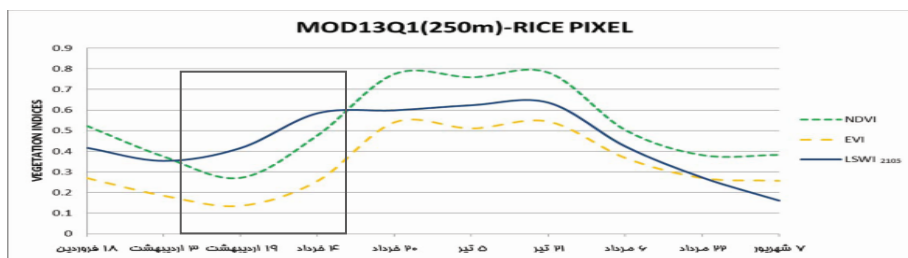
اراضی

در تیرماه ۱۳۹۰ طی عملیات میدانی، ۱۸۳ نقطه کنترلی از اراضی شالیزاری برنج و غیربرنج به همراه

1. Surface
2. Apparent
3. Panicle initiation

این بازه در شکل ۲ از اوایل اردیبهشت ماه الی اوایل خرداد ماه مشهود است. همچنین براساس نتایج مشاهدات میدانی، گیاه برنج در ۲ ماه ابتدای کاشت به سرعت رشد می‌کند و بعد از ۲ ماه میزان تاج پوشش آن سطح پس‌زمینه را می‌پوشاند. بنابراین بعد از ۲ ماه از کاشت مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و NDVI به ارزش بیشینه می‌رسند. بررسی ارتباط بین این شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های NDVI و $LSWI_{210.5}$ رفتاری معکوس نسبت به یکدیگر دارند، به طوری که شاخص $LSWI_{210.5}$ در ابتدا به دلیل غرقابی بودن زمین دارای میزان بیشتری از NDVI است و این مقدار با افزایش تاج پوشش گیاه برنج و متراکم‌تر شدن به نسبت شاخص NDVI کاهش می‌یابد. اما این ارتباط برای دو شاخص EVI و $LSWI_{210.5}$ تعریف‌شده نیست، به طوری که این دو شاخص در زمان غرقابی کردن و نشاکاری اراضی همچنین در زمان افزایش تاج پوشش دارای نقاط تلاقی با مقدار شاخص $LSWI_{210.5}$ نیست (شکل ۲). بدین ترتیب روش ارائه شده برای شناسایی شالیزارهای برنج با استفاده از رابطه بین شاخص‌های $LSWI_{210.5}$ و NDVI در دوره غرقابی و نشاکاری برنج است. ترکیب این دو شاخص حساسیت نسبت به آب ناشی از غرقابی کردن اراضی در دوره نشاکاری و گیاه برنج در طول دوره رشد فنولوژیک را ایجاد می‌کنند. در طی این دوره با نمایان شدن آب در اراضی کشاورزی، ارزش شاخص $LSWI_{210.5}$ بیشتر از ارزش شاخص NDVI می‌شود و ارتباط بین این دو شاخص در دوره رشد برنج به‌طور موقت معکوس می‌گردد.

شالیزارها به صورت متوسط بین ۲ الی ۱۵ سانتی‌متر است. برنج به نوسانات رطوبتی و تنش آب در دوره‌های پاکگیری نشا یعنی بلافاصله بعد از نشاکاری، دوره تشکیل اندام‌های زایشی و در طول دوره گل‌دهی بسیار حساس است و بیشترین مصرف آب را در این مراحل دارد (Xiao et al., 2005). شالیزارهای برنج از زمان نشا تا مراحل آخر رشد غرقاب هستند و تنها در مرحله رسیدگی کامل به منظور خشک کردن گیاه و برداشت، زمین‌ها خشک می‌شوند. اما در حدود ۲ ماه بعد از نشاکاری، تاج پوشش گیاه برنج بیشتر سطح زیر کشت را پوشش می‌دهد. بنابراین رفتار طیفی در اردیبهشت ماه ترکیبی از گیاه و آب درون شالیزارهاست و این رفتار طیفی تا زمان چیرگی تاج پوشش گیاه، رفتار طیفی غالب است، به طوری که در اواخر خرداد ماه بیشترین بازتاب‌ها از تاج پوشش گیاه خواهد بود. به نظر می‌رسد به منظور جداسازی تغییرات آب سطحی و پوشش سبز گیاه در شالیزارهای برنج با استفاده از سنجنده‌های نوری، به باندهای طیفی یا شاخص‌های پوشش گیاهی حساس به آب و گیاه نیاز است. بدین ترتیب، در این تحقیق به منظور شناسایی مرحله آماده‌سازی و نشاکاری شالیزارهای برنج شاخص‌های NDVI، EVI، $LSWI_{210.5}$ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ارتباط بین شاخص‌های EVI و NDVI با شاخص $LSWI_{210.5}$ در یک دوره رشد کامل گیاه برنج مطابق با تقویم زراعی در سال ۱۳۸۹ بررسی شد (شکل ۲). یعنی زمان آماده‌سازی زمین با واردسازی آب و غرقابی کردن به منظور نشاکاری افزایش می‌یابد. به طوری که



شکل ۲. مقایسه سه شاخص پوشش گیاهی در سال زراعی ۱۳۸۹ در تصاویر MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (MOD13Q1) در یک پیکسل برنج (E 28° 24' 42", N 36° 26' 17' 23").

گرفته شوند. حال به منظور شناسایی پیکسل‌های برنج از این بین باید شرطی را با توجه به روند رشد شاخص‌های پوشش گیاهی در نظر گرفت؛ بدین ترتیب که شاخص پوشش گیاهی NDVI در زمان غرقابی باید ارزشی کمتر از نصف مقدار حداکثر NDVI داشته باشد. با توجه به روند رشد گیاه، تصویر سوم و چهارم دارای حداکثر ارزش NDVI است که با کسر یک عدد ثابت با توجه به مقدار حداکثری شاخص پوشش گیاهی، که در این تحقیق برای شاخص NDVI مقدار 0.3792 در نظر گرفته شده است، به نصف کاهش پیدا می‌کند. به منظور شناسایی ارتباط بین شاخص‌های ذکرشده در تصاویر MODIS 13Q1 رفتار طیفی هر سه شاخص از شروع سال زراعی برنج در سال ۱۳۸۹ تا پایان دوره زراعی برنج در سال ۱۳۹۰ به صورت سری زمانی در منطقه مورد مطالعه با توجه به عملیات میدانی و نقاط زمینی برداشت شده بررسی گردید (ن.ک. شکل‌های ۳ و ۴ و ۵). در این قسمت پیکسل‌های برنج در سه منطقه از دو سایت نمونه‌برداری بررسی می‌شود. دو پیکسل از مناطق مختلف سایت شماره ۳ (بورمحل) انتخاب شد که یک پیکسل دارای غالب ارقام پرمحصول و دیررس (شیرودی، فجر) است و پیکسل دیگر دارای غالب رقم بومی هاشمی که زودرس است. پیکسل سوم از منطقه‌ای در سایت شماره ۴ (شومیا) انتخاب شد که مخلوطی از دو رقم زودرس و دیررس را در خود دارد. در پروفیل سری زمانی رفتار ۳ شاخص (EVI، NDVI، LSWI_{21.5}) پیکسل برنج مربوط به شالیزارهای سایت بورمحل ۱ (شکل ۴) از ابتدای سال ۱۳۸۹ تا پایان دوره زراعی گیاه برنج ترسیم شده است. با در نظر گرفتن فرضیه اول، مشاهده می‌شود در بین بازه‌ای که ۵ تصویر ابتدای سال مقدار شاخص LSWI_{21.5} بیشتر از NDVI است، ارزش NDVI در تاریخ ۱۹ اردیبهشت به حداقل مقدار می‌رسد. این تاریخ برای زمان غرقابی بودن شالیزارها در نظر گرفته می‌شود. در دومین تصویر بعد از این تاریخ ارزش به بیش از نصف حداکثری آن می‌رسد. با در نظر گرفتن فرض دوم در این سایت مشاهده شد در بین بازه‌ای که ۵ تصویر ابتدای سال

اختلاف بین شاخص LSWI_{21.5} و NDVI در تصاویر گرفته شده در فاصله اوایل اردیبهشت ماه تا دهه نخست خردادماه را نشان می‌دهد. این زمان با بازه غرقابی کردن اراضی و آغاز نشاکاری تا زمان چیرگی تاج پوشش نسبت به سطح پس‌زمینه در منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد و این بازه حداکثر تا اواخر خردادماه در مناطق می‌تواند با الگوی کشت و نوع رقم متفاوت در منطقه مورد مطالعه افزایش یابد. بنابراین بازه مذکور تمامی اراضی زراعی را که به منظور کشت برنج غرقاب شده‌اند پوشش می‌دهد. در صورتی که روند رشد معناداری در شاخص‌های پوشش گیاهی در این اراضی مشاهده نشود، اراضی مذکور پتانسیل شناسایی شدن به عنوان شالیزار برنج را دارند. بدین ترتیب، با توجه به ارتباط بین رفتار شاخص‌های پوشش گیاهی با مشاهدات میدانی و اطلاعات جانبی از تاریخ نشاکاری و مدت زمان دوره غرقابی، متناسب با نوع رقم کشت‌شده و دوره رشد، دو فرضیه برای شناسایی شالیزارهای برنج مطرح گردید.

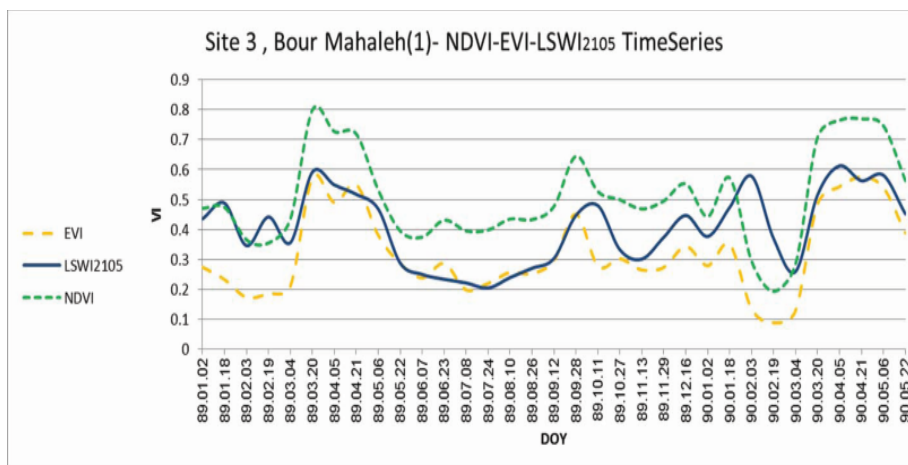
در فرض اول پیکسل‌هایی که در پنج تصویر ابتدای سال مقدار شاخص LSWI_{21.5} بیشتری از NDVI دارند شناسایی می‌شود و آن دسته از پیکسل‌هایی که از این بین در پروفیل زمانی شاخص پوشش گیاهی NDVI حداقل ارزش را در پنج تصویر ابتدای سال زراعی دارند به عنوان پیکسل‌های غرقابی و نشاکاری شده مدنظر قرار می‌گیرند. حال، در صورتی که این پیکسل‌ها در دومین تصویر بعد از تاریخ نشاکاری (۳۲ روز بعد) به بیش از نصف حداکثر NDVI یا EVI برسند، به عنوان پیکسل برنج شناسایی خواهند شد.

فرض دوم در نظر گرفته شده برای شناسایی شالیزارهای برنج، این است که به مانند شرط اول فرض پیشین، پیکسل‌هایی که در پنج تصویر ابتدای سال مقدار شاخص LSWI_{21.5} بیشتری از NDVI دارند شناسایی گردند و آن دسته از پیکسل‌هایی که از این بین در پروفیل زمانی شاخص پوشش گیاهی NDVI حداقل ارزش را در پنج تصویر ابتدای سال زراعی دارند به عنوان پیکسل‌های غرقابی و نشاکاری شده در نظر

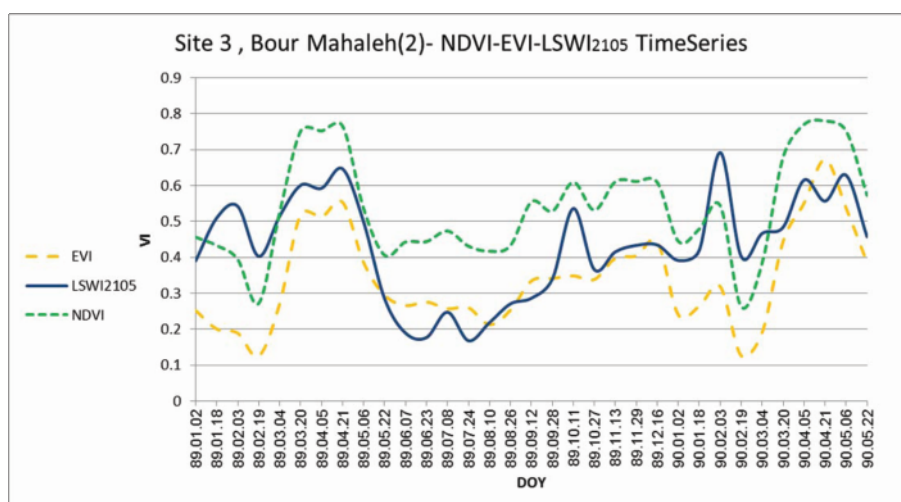
شناسایی شالیزارهای برنج را دارند (شکل ۴). منطقه سومی که به منظور بررسی فرضیات بر روی پروفیل سری زمانی رفتار طیفی ۳ شاخص هدف انتخاب شد، در بخش بالادست شهرستان آمل قرار دارد. در سال زراعی ۱۳۸۹ رقم بومی طارم کشت شده و بهره‌برداری دوباره از زمین به صورت دوباره نشا انجام گرفته و در سال زراعی ۱۳۹۰ رقم پرمحصول شیروودی کشت شده است. فرضیات در این منطقه در ۳ بخش کشت اول و کشت دوم سال ۱۳۸۹ و نیز کشت سال ۱۳۹۰ بررسی می‌شود. در کشت اول سال ۱۳۸۹ هر دو فرضیه پتانسیل شناسایی شالیزارهای برنج را دارند.

مقدار شاخص $LSWI_{2105}$ بیشتری از $NOVI$ دارند، ارزش شاخص $NPVI$ در زمان غرقابی و نشاکاری (۱۹ اردیبهشت) کمتر از حداکثر میزان $NPVI$ در سومین و چهارمین تصویر بعد از این تاریخ با کسر عدد ثابت ۰/۳۷۹ است. بدین ترتیب هر دو فرضیه مذکور پتانسیل شناسایی اراضی شالیزاری را در این منطقه در خود دارند (شکل ۳).

دو فرضیه نیز به منظور شناسایی اراضی شالیزاری برنج برای منطقه دوم از سایت شماره ۳ (بورمحله)، که بیشترین تراکم پوشش آن به ارقام کم‌محصول و زودرس طارم هاشمی اختصاص دارد، بررسی شد و نتایج نشان داد که فرضیات در این منطقه نیز پتانسیل



شکل ۳. پروفیل سری زمانی رفتار شالیزار با رقم غالب پرمحصول در سه شاخص $LSWI_{2105}$ و $EVI, NDVI$

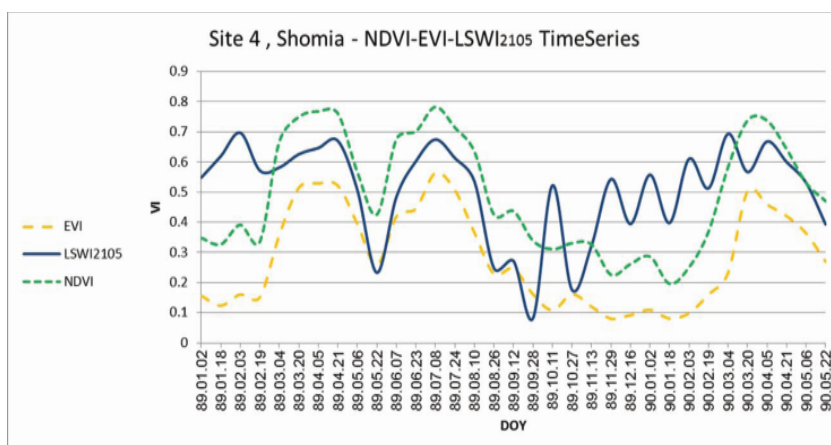


شکل ۴. پروفیل سری زمانی رفتار شالیزار با رقم غالب بومی در سه شاخص $LSWI_{2105}$ و $EVI, NDVI$

ایجاد کرده است. بدین ترتیب در نظر گرفتن درست بازه دوره نشاکاری و غرقابی اراضی متناسب با الگوی کشت منطقه می‌تواند در کاهش خطا بسیار مؤثر باشد به طوری که این منطقه بر طبق مشاهدات میدانی دارای ترکیبی از ارقام پرمحصول و بومی است که دارای زمان نشا و دوره فنولوژیک متفاوتی هستند (شکل ۵).

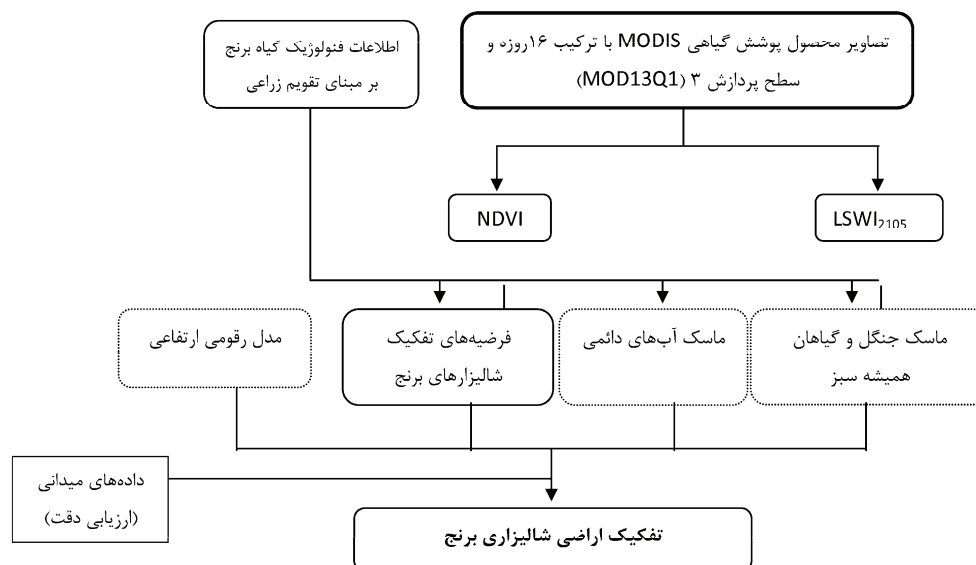
در مجموع فرضیات در سه منطقه متفاوت از لحاظ ارقام و الگوی کشت مطرح شدند و مشخص ساختند که پتانسیل شناسایی شالیزارهای برنج با تنوع ارقام را در دو ماه ابتدایی دوره رشد دارند. اما انتخاب بهترین شاخص پوشش گیاهی با توجه به شاخص $LSWI_{2105}$ شرط اصلی در پیاده‌سازی الگوریتم‌های شناسایی است. همان‌طور که در بررسی سه شاخص در ابتدای بحث اشاره شد، شاخص EVI ارتباط معناداری به مانند $NDVI$ با شاخص $LSWI_{2105}$ ندارد، به طوری که در شرط اول هر دو فرضیه، بهترین ارتباط را شاخص $LSWI_{2105}$ با $NDVI$ دارد. به همین دلیل، در الگوریتم‌های شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج تنها از این دو شاخص استفاده شده است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

در کشت دوم سال ۱۳۸۹ زمان رسیدگی کامل و برداشت با زمان برداشت ارقام زودرس (اواسط مرداد ماه) مطابقت دارد ولی شاخص $LSWI_{2105}$ ارزشی بیشتر از شاخص $NDVI$ پیدا نمی‌کند؛ اما با توجه به اطلاعات جانبی منطقه، زمان کشت و دوره رشد و پتانسیل دوباره نشا، راتن^۱ و در کل بهره‌وری دوباره از منطقه می‌توان این افزایش ارزش شاخص $NDVI$ را به شالیزار برنج نسبت داد. در کشت سال ۱۳۹۰ فرضیات یک و دو پتانسیل شناسایی اراضی شالیزاری را نشان دادند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در چهار تصویر ابتدایی سال ۱۳۹۰ بالاترین ارزش شاخص $LSWI_{2105}$ را، که ممکن است با غرقابی بودن اراضی مرتبط باشد، با توجه به اطلاعات جانبی و تقویم زراعی منطقه در تاریخ ۳ اردیبهشت دانست؛ اما در دومین تصویر بعد از این تاریخ، یعنی ۴ خرداد ماه، شاخص $LSWI_{2105}$ به حداکثر می‌رسد به طوری که ارزش شاخص $LSWI_{2105}$ در ابتدای سال به صورت تناوبی افزایش یا کاهش می‌یابد. یکی از دلایلی که شاخص $LSWI_{2105}$ چنین رفتاری را نشان می‌دهد، مخلوط بودن ارقام کشت‌شده در این منطقه از سایت ۴ (شومیا) است که الگوی کشت پیچیده‌ای را در منطقه



شکل ۵. پروفیل سری زمانی رفتار شالیزار دو کشتی ارقام بومی در سال ۱۳۸۹ و تک کشتی ارقام پرمحصول در سال ۱۳۹۰ در سه شاخص $LSWI_{2105}$ ، EVI ، $NDVI$

۱. در مناطق بالادست شهرستان آمل کشاورزان بوته شالی را حفظ و آن را تبدیل به راتن می‌کنند و راتن در واقع برنج دومی است که خاصیت بیشتری از برنج اول دارد و به سم و کودهای شیمیایی نیز آغشته نشده است.



شکل ۶. مدل مفهومی شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج

۳-۲- الگوریتم تفکیک شالیزارهای برنج

با توجه به فرضیات ارائه شده به منظور شناسایی شالیزارهای برنج، الگوریتم‌هایی برای تفکیک و جداسازی این مناطق ایجاد شده‌اند. در اجرای الگوریتم‌های شناسایی شالیزارهای برنج با استفاده از MODIS فاکتورهای زیادی می‌توانند تأثیرگذار باشند که از آن جمله می‌توان به اینها اشاره کرد: پوشش برف، ابر، بدنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی دائم. این فاکتورها نیز باید از تصاویر سری زمانی ماسک شوند. مراحل اجرای الگوریتم جداسازی با استفاده از محصول MOD13Q1 در شکل ۶ نشان داده شده است.

۳-۲-۱- الگوریتم ارائه شده بر مبنای فرض یکم

با توجه به فرض اولی که ارائه شد، در ابتدا پیکسل‌هایی که در ۵ تصویر با ترکیب ۱۶ روزه ابتدایی سال، ارزش شاخص $LSWI_{7105}$ آنها نسبت به $NDVI$ بیشتر بود با استفاده از شرط نخست این الگوریتم جداسازی شدند. در این شرط در جایی که $LSWI_{7105}$ بیشتر از $NDVI$ در تصویر زمان t باشد انتخاب می‌شود و این امر تا ۴ زمان بعد از آن نیز ادامه پیدا می‌کند. بدین ترتیب

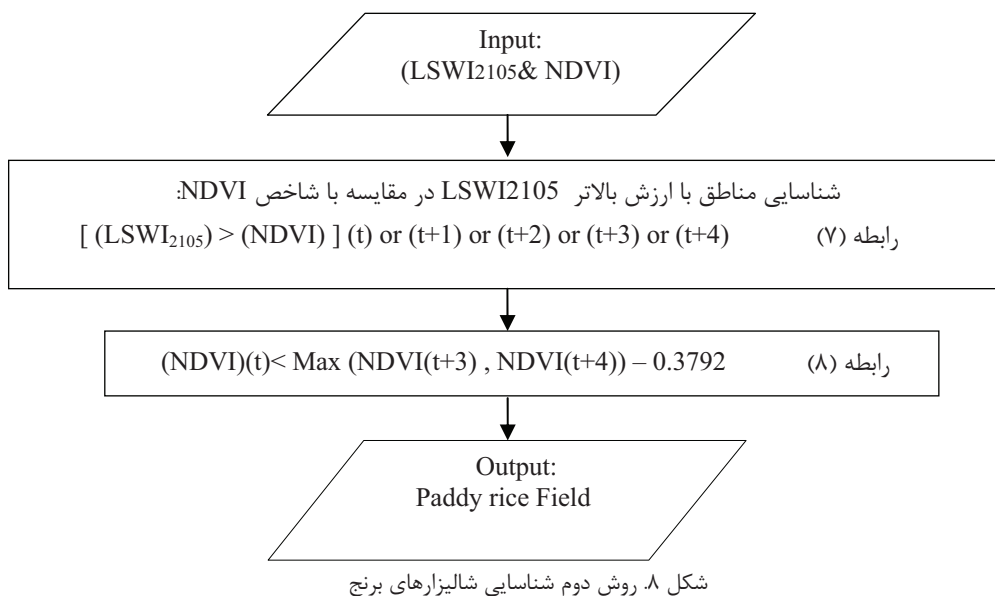
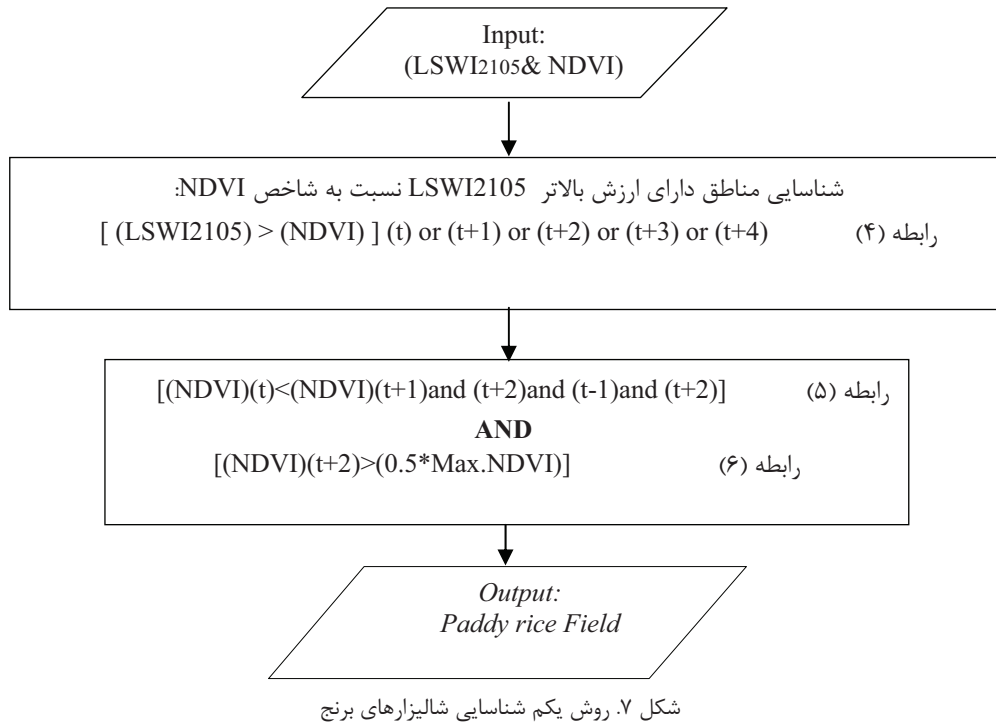
محدوده‌ای که در ابتدای سال بازتاب بیشتری در شاخص حساس به رطوبت دارد جداسازی می‌گردد. در این محدوده شالیزارهای برنج و مناطق آبی (تالاب، آب‌بندان و جز اینها و اراضی دیگری با رطوبت زیاد وجود دارند. در نتیجه یک تصویر به عنوان ماسک از این مرحله تولید می‌شود. در شرایط ۵ و ۶ در این الگوریتم باید حداقل ارزش $NDVI$ در بین پنج تصویر ابتدایی سال زراعی به عنوان پیکسل غرقابی و نشاکاری شده در نظر گرفته شود و در دومین تصویر باید میزان $NDVI$ به بیش از نصف حداکثر $NDVI$ در آن پیکسل برسد، که با شرط ۶ جداسازی شد. در این شرط $NDVI$ در زمان t ارزش حداقل را در مقایسه با تصویر قبل و بعد از آن دارد، و ارزش $NDVI$ نیز در دومین تصویر بعد از زمان t به ارزشی بیش از نصف حداکثر $NDVI$ می‌رسد (شکل ۷).

۳-۲-۲- الگوریتم ارائه شده بر مبنای فرض ۲

بر اساس فرضیه دوم، به منظور شناسایی مناطق با ارزش بیشتر شاخص حساس به رطوبت، ۵ تصویر با ترکیب ۱۶ روزه ابتدایی سال که در آنها ارزش شاخص

شاخص پوشش گیاهی NDVI در ۳ الی ۴ تصویر بعد از تاریخ نشاء، توانایی شناسایی پیکسل‌های شالیزار برنج را از بین پیکسل‌های غرقابی دارد، بدین منظور رابطه (۸) ارائه شد (شکل ۸).

LSWI₂₁₀₅ نسبت به NDVI بیشتر بود، با استفاده از شرط اول که در هر دو روش شناسایی شالیزارهای برنج مشترک است، جداسازی شده و تصویری به عنوان ماسک تولید می‌شود. با توجه به رشد سریع برنج و پوشش بسته تاج پوشش در دو ماه ابتدایی رشد،



۳-۳- جداسازی عوامل اثرگذار بر الگوریتم تفکیک برنج

۳-۳-۱- مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM)

توپوگرافی در رشد برنج بسیار تأثیرگذار است، به‌ویژه مناطقی با شیب زیاد برای شالیزارهایی که برنج به‌صورت غرقاب در آنها رشد می‌کند مناسب نخواهند بود (Peng et al., 2011). اغلب ارقام برنج در مناطقی با شیب کم (کمتر از ۶°) و ارتفاعات پایین کشت می‌شوند. براساس مطالعات طرح توسعه کشاورزی حوضه آبریز هراز، ارتفاع تا ۱۰۰ متر جزو منطقه دشت، از ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا جزو منطقه میان‌بند و ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر جزو مناطق کوهستانی محسوب می‌شود. بدین منظور نقشه‌های تهیه‌شده از مناطق شالیزارهای برنج در دشت هراز در آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن^۲ (JAICA) با نقشه ارتفاعی منطقه مقایسه شد. بنابراین به‌منظور کاهش حجم داده‌ها و افزایش سرعت پردازش، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ماسک تهیه شد و با استفاده از آن مناطق با ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر حذف گردید. این حد آستانه‌گذاری متناسب با مناطق مختلف می‌تواند متفاوت باشد. از آنجا که روش‌های ارائه‌شده به‌منظور شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج می‌تواند در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گیرد، جداسازی مناطقی که قابلیت رشد برنج را ندارند، می‌تواند بسیار کارساز باشد.

۳-۳-۲- آب‌های دائمی

آب‌های دائمی یکی از خطاهای شناسایی شالیزارهای برنج به‌شمار می‌آیند، به‌طوری که در دو ماه ابتدایی دوره رشد برنج، شالیزارها و بدنه‌های آبی قابل تفکیک نیستند. اصلی‌ترین روش برای شناسایی شالیزار برنج از غیر در این تحقیق، ارتباط بین شاخص‌های حساس به رطوبت خاک و پوشش گیاهی است که در ابتدای دوره رشد به‌دلیل ارزش بالای شاخص LSWI₂₁₀₅ و ارزش پایین شاخص NDVI، شناسایی را با مشکل مواجه

می‌سازد، به همین دلیل روش ساده‌ای به‌منظور شناسایی و تفکیک آب‌های دائمی به کار گرفته شد. شالیزارهای برنج تنها زمان کوتاهی از دوران رشد را به صورت غرقابی بدون پوشش طی می‌کنند، البته در بقیه دوران رشد نیز شالیزارهای برنج در آب قرار دارند اما تاج پوشش به علت تراکم بالا بیشترین بازتابندگی را در ناحیه فرورسرخ نزدیک دارد. بنابراین ارزش شاخص LSWI₂₁₀₅ در دو ماه ابتدایی دوره رشد از ارزش شاخص NDVI بیشتر است و به‌تدریج این اختلاف جابه‌جا می‌شود، به‌طوری که تا پایان دوره رشد ارزش NDVI از LSWI₂₁₀₅ بیشتر می‌شود. این در حالی است که LSWI₂₁₀₅ برای آب‌های دائمی در تمام طول دوره رشد بیشتر از NDVI است. بدین ترتیب با استفاده از رابطه (۹) ماسک تولید شد و با استفاده از آن آب‌های دائمی جدا شد.

رابطه (۹)

$$[NDVI(t5) < LSWI_{2105}(t5)] \text{ AND } [NDVI(t6) < LSWI_{2105}(t6)]$$

۳-۳-۳- پوشش‌های همیشه سبز

برای پرهیز از خطای ناشی از آب‌گرفتنگی پوشش‌های گیاهی طبیعی در تفکیک شالیزارهای برنج، پوشش‌های گیاهی همیشه‌سبز با استفاده از شاخص‌های LSWI₂₁₀₅ و NDVI تفکیک شدند. پوشش‌های همیشه‌سبز طبیعی به‌طور معمول ترکیبی از درختان و درختچه‌های همیشه‌سبزند. مرحله نخست به شناسایی جنگل‌های همیشه‌سبز اختصاص دارد. مناطق جنگلی همیشه‌سبز به‌طور مداوم و طولانی در طی سال NDVI بالایی دارند، در حالی که پیکسل‌های اراضی زراعی (مانند برنج) تنها در دوره کمی از تصاویر ترکیبی ۱۶ روزه و تا انتهای برداشت دارای مقدار بالای NDVI هستند. پیکسل‌های جنگل همیشه‌سبز با استفاده از پیکسل‌هایی که دارای مقدار NDVI بالاتر از ۰/۶ در

1. Digital elevation model

2. Japan International Cooperation Agency

شناسایی زمین‌های غرقابی، تمامی اراضی شالیزاری با زمان‌های نشای متفاوت در نظر گرفته شده‌اند.

۴-۲- مقایسه مناطق شالیزاری برنج بین نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های کاربری اراضی

سازمان نقشه‌برداری کشور با استفاده از عکس‌های هوایی و تفسیر بصری، نقشه اراضی شالیزاری کشور را برای سال ۱۳۸۳ در مقیاس ۱:۲۵/۰۰۰ تهیه کرد (شکل ۱۱). بررسی این لایه از اراضی کشاورزی در تصاویر ماهواره با قدرت تفکیک مکانی بالای Google Earth آشکار کرد که لایه دقت بالایی ندارد و تمامی مناطق میان جنگل‌های دامنه شمالی البرز و دریای خزر - به جز بدنه‌های آبی و مناطق شهری و انسان‌ساخت - به عنوان اراضی شالیزاری برنج طبقه‌بندی شده و در بیشتر مناطق نیازمند به‌روزرسانی است. از این‌رو علاوه بر بررسی این داده‌ها، از نقاط کنترلی زمینی که در طی عملیات میدانی در سال زراعی ۱۳۹۰ برداشت شده است نیز به منظور ارزیابی نتایج استفاده شد. الگوی مکانی اراضی شالیزاری حاصل از MODIS به‌طور عمومی با داده مرجع کاربری اراضی در سال ۱۳۸۳ مشابه است. مناطقی که بر پایه MODIS به عنوان اراضی شالیزاری شناسایی شده‌اند، بیشترین ضریب همبستگی را با داده‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه (شهرستان آمل - دشت هراز) در مرکز استان مازندران دارد.

زمان نشاکاری و غرقاب کردن زمین‌ها در استان مازندران در سه بخش غربی، مرکزی و شرقی استان به دلیل دمای هوا متفاوت است، اما از آنجا که هدف از روش‌های ارائه‌شده در این تحقیق کاربرد در مقیاس منطقه‌ای و به منظور شناسایی است، در ۲ ماه ابتدایی دوره که کشت وابسته به بازه زمانی نشاکاری است انتظار می‌رود که به دلیل استفاده از تقویم زراعی منطقه مرکزی، همبستگی در این بخش بالاتر از بخش‌های غربی و شرقی باشد.

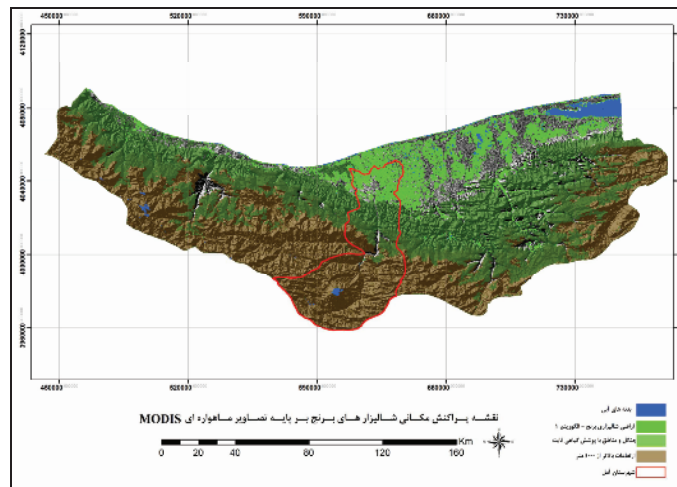
حداقل ۱۰ تصویر با ترکیب ۱۶ روزه در طی سال هستند، شناسایی می‌شود. مرحله دوم به منظور شناسایی درختچه‌زارها / علفزارهای همیشه‌سبز است که به‌طور معمول میزان شاخص سطح برگ (LAI) یا NDVI کمتری در مقایسه با جنگل‌های همیشه‌سبز دارد. اراضی زراعی معمولاً در دوره‌هایی دارای خاک لخت هستند (مانند بعد از برداشت یا زمان آماده‌سازی زمین)، که در آن زمان ارزش شاخص $LSWI_{21.5}$ بسیار پایین است. در آزمایش این فرضیه در طول سال برای $LSWI_{21.5}$ بر روی انواع پوشش گیاهی در استان مازندران، نتایج نشان داد که مناطق با پوشش گیاهی ثابت (با پوشش سبز در طول سال) به‌ندرت ارزش $LSWI_{21.5}$ کمتر از ۰/۱۵ دارند. بنابراین در مطالعه حاضر پیکسل‌هایی که ارزش $LSWI_{21.5}$ کمتر از ۰/۱۵ را در طول سال نداشتند به عنوان پوشش‌های گیاهی همیشه‌سبز طبیعی قلمداد می‌شوند.

۴-۴- نتایج

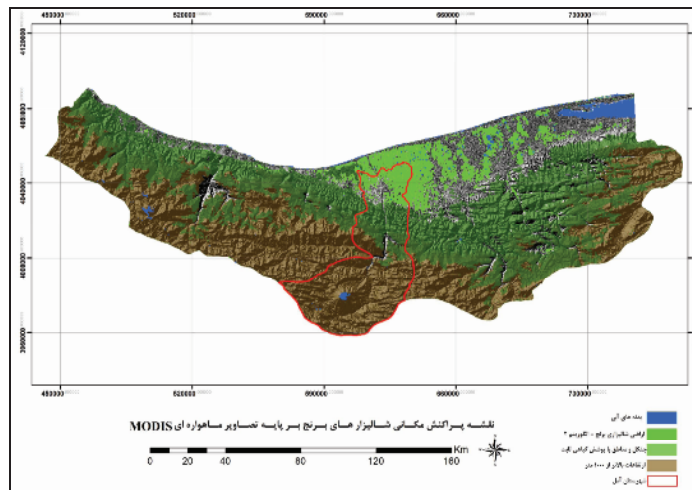
۴-۱- پراکنش مکانی اراضی شالیزاری برنج بر مبنای MODIS

پراکنش مکانی شالیزارهای برنج در استان مازندران و شهرستان آمل شناسایی شد و نقشه پراکنش آن با استفاده از دو روش در سال ۱۳۹۰ تهیه گردید (شکل ۹ و ۱۰). اراضی شالیزاری در منطقه دشت هراز و حد فاصل دامنه شمالی رشته‌کوه البرز تا حاشیه دریای خزر متمرکزند و از آنجا که برنج، محصول زراعی اصلی شهرستان آمل به شمار می‌آید، بیشتر کشاورزان با توجه به آب کافی و دمای مناسب برای رشد گیاه برنج تا حد ممکن از اراضی شالیزاری بهره‌برداری می‌کنند. در سال‌های اخیر کشت ارقام پرمحصول در بین کشاورزان شهرستان آمل افزایش یافته است و این امر مخلوط بودن هر چه بیشتر اراضی شالیزاری را از لحاظ زمان نشاکاری و دوره رشد افزایش می‌دهد. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن بازه زمانی نشاکاری بهینه برای

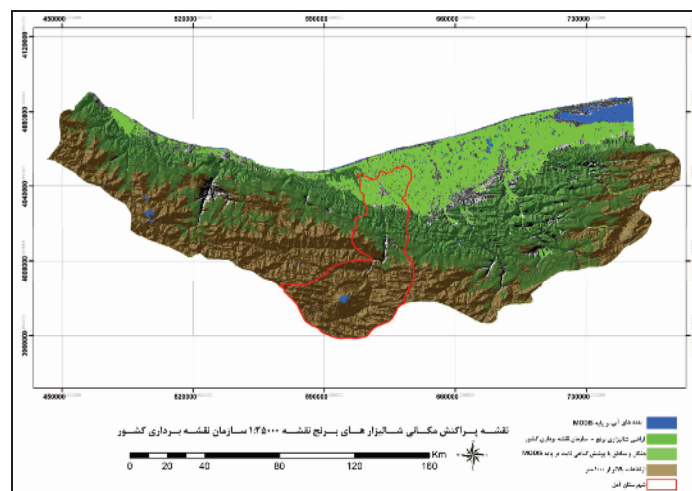
هادی علیزاده و همکاران



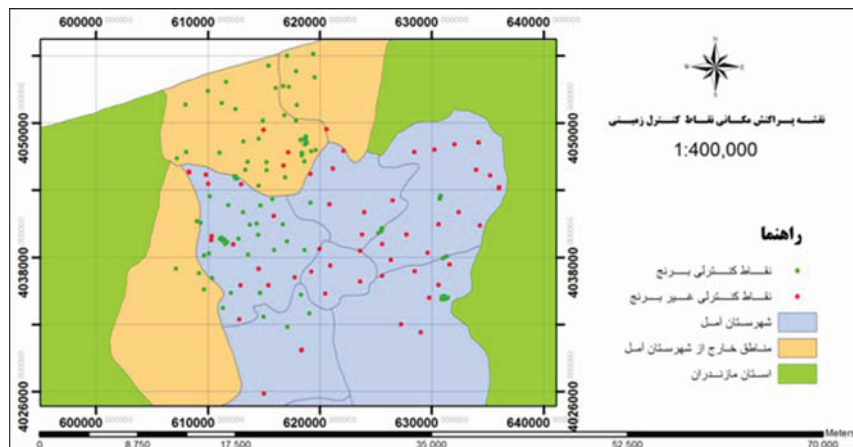
شکل ۹. نقشه پراکنش اراضی شالیزاری برنج بر پایه تصاویر ماهواره‌ای MODIS - با استفاده از الگوریتم ۱



شکل ۱۰. نقشه پراکنش اراضی شالیزاری برنج بر پایه تصاویر ماهواره‌ای MODIS - با استفاده از الگوریتم ۲



شکل ۱۱. نقشه پراکنش اراضی شالیزاری برنج؛ تهیه‌شده در سازمان نقشه‌برداری کشور



شکل ۱۲. نقشه پراکنش مکانی نقاط کنترل زمینی

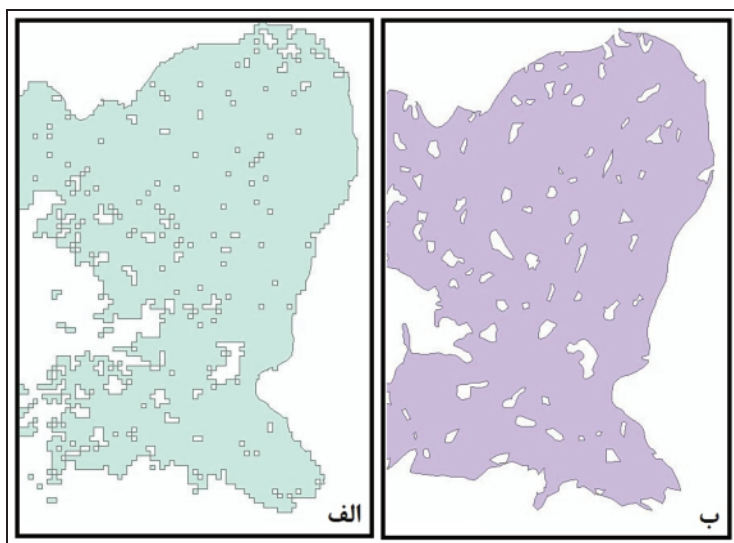
۴-۳- ارزیابی دقت

به منظور ارزیابی نتایج با استفاده از برداشت‌های عملیات میدانی، با توجه به وسعت استان مازندران تنها از شهرستان آمل و حومه ۱۸۳ نقطه کنترل شامل ۱۲۳ نقطه کنترلی از شالیزارهای برنج و ۶۰ نقطه کنترلی از اراضی غیربرنج مورد استفاده قرار گرفت. نقاط کنترلی با توجه به همگنی منطقه، موقعیت نقاط، مقیاس متناسب با تصاویر مورد استفاده به همراه عکس‌برداری مکان‌دار برداشت شدند (شکل ۱۲).

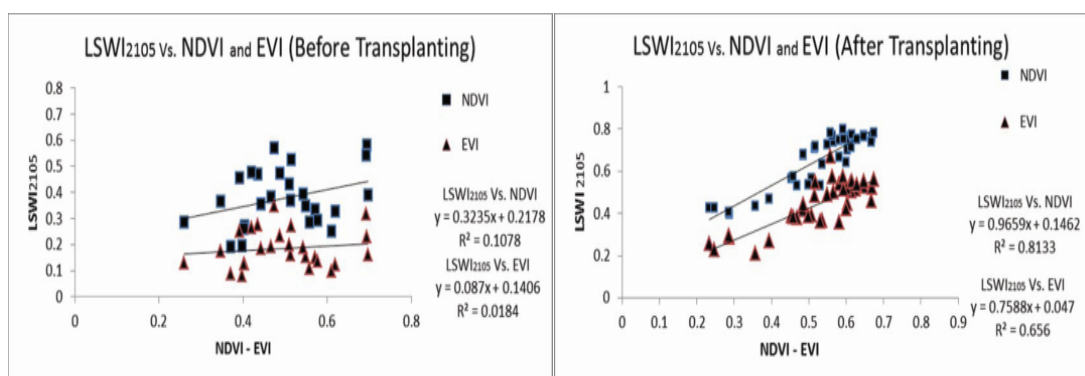
نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پراکنش مکانی شالیزارهای برنج حاصل از الگوریتم ۱ با استفاده از ماتریس خطا^۱ نشان داد که با دارا بودن دو کلاس برنج و غیربرنج، این الگوریتم دارای دقت کلی^۲ ۶۷/۲۱۳۱ درصد است. همچنین ماتریس خطا برای الگوریتم دوم نشان داد که نقشه پراکنش مکانی شالیزارهای برنج در دو کلاس برنج و غیربرنج دارای دقت کلی ۸۰/۸۷۴۳ درصد است. نتایج ماتریس خطا نشان داد که توانایی روش دوم در شناسایی شالیزارهای برنج بیش از روش نخست است، که این امر می‌تواند نشان‌دهنده نامطمئن بودن شاخص پوشش گیاهی NDVI در زمان دوره ابتدایی رشد به دلیل ترکیب آب، گیاه و خاک باشد. در رابطه (۵) در روش نخست شناسایی شالیزار برنج از مقدار NDVI در زمان نشاکاری و دو تصویر قبل و بعد از این تاریخ به منظور بررسی روند رشد گیاه و تفکیک

برنج از اراضی غرقابی غیربرنج مورد استفاده قرار گرفت، که می‌توان آن را علت کاهش دقت در این روش دانست. در روش دوم با وجود شرطی یکسان در شناسایی اراضی غرقابی با روش اول، رابطه (۸) برای شناسایی و تفکیک اراضی شالیزاری برنج مناسب‌تر از رابطه (۵) عمل کرد، به این دلیل که تنها از رابطه NDVI در زمان نشا با مقدار این شاخص در ۴۸ الی ۶۴ روز بعد از نشا - یعنی زمانی که گیاه دارای تاج پوشش بسته است - استفاده شد. در هر دو روش ارتباط بین اندازه پیکسل سایز تصاویر و سایز کرت‌های کشاورزی برنج تأثیرگذار است، به طوری که در اکثر پیکسل‌ها ترکیبی از چند پدیده وجود دارد. دقت جداسازی شالیزارهای برنج تنها به سایز کرت‌های کشاورزی وابسته نیست بلکه شکل آنها نیز مؤثر است. نسبت محیط به مساحت (P/A) می‌تواند به عنوان یک شاخص متغیر برای پی بردن به الگوی اختلاف بین شالیزارهای حاصل از MODIS و داده‌های مرجع مورد استفاده قرار گیرد (Peng et al., 2011). نقشه پراکنش تهیه‌شده با استفاده از تصاویر MODIS از نظر مساحت نیز با لایه شالیزار کاربری اراضی نقشه ۱:۲۵/۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری مقایسه شد (شکل ۱۳).

1. Confusion Matrix
2. Overall Accuracy



شکل ۱۳. مقایسه پراکنش ارضی شالیزاری برنج حاصل از (الف) تصاویر MODIS و (ب) لایه شالیزار نقشه کاربری ارضی



شکل ۱۴. ارتباط بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI با شاخص LSWI₂₁₀₅ از ابتدای غرقابی تا حداکثر میزان رشد به تفکیک دو مرحله قبل و بعد از نشاکاری

گذشته نشان داد که می‌توان با برقراری ارتباطی معنادار بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص حساس به رطوبت LSWI₂₁₀₅ اقدام به توسعه الگوریتم‌های ارائه شده در تحقیقات پیشین کرد. نتایج نشان داد که ارتباط شاخص پوشش گیاهی NDVI با LSWI₂₁₀₅ به دلیل وجود رابطه معنادار با تقویم زراعی گیاه برنج در محصول MODIS_{13Q1} توانایی زیادی در شناسایی ارضی غرقابی و شالیزارهای برنج دارد. رابطه خطی بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI با شاخص LSWI₂₁₀₅ در دو مرحله قبل و بعد از نشاکاری

نتایج نشان داد که ارضی شالیزاری در سطح شهرستان آمل با استفاده از MODIS دارای مساحت ۳۲۶۸۹/۹ هکتار است، که این مساحت در لایه شالیزار نقشه کاربری ارضی برابر ۳۹۰۹۷/۴ هکتار است. یکی از اصلی‌ترین دلایل اختلاف این دو تاریخ تهیه نقشه‌هاست.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

روش ارائه شده به منظور شناسایی و تفکیک زمین‌های شالیزاری برنج در این مطالعه در مقابل تحقیقات

ماه اکتبر سال ۲۰۱۱ به فضا پرتاب شد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای این سنجنده باشد.

۶- منابع

APERI, 2011, **Annual Report Crop Cultivation**, In. Agricultural Planning Economic & rural Development Research Institute, The Ministry of Jihad-e Agriculture.

Aselman, I., Crutzen, P.J., 1989, **Global Distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies**, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions, J. Atmos. Chem, 8, PP. 307–358.

Bhaskar Ramachandran, C.O.J., Michael J. Abrams, 2011, **Land Remote Sensing and Global Environmental Change NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS**, © Springer Science.

Christopher O. Justice, E.V., Member, 1998, **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research**, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 36.

Clark, M.L., Aide, T.M., Grau, H.R., & Riner, G., 2010, **A Scalable Approach to Mapping Annual Land Cover at 250 m Using MODIS Time Series Data: A Case Study in the Dry Chaco Ecoregion of**

در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که قبل از نشاکاری مشخص است، R_2 شاخص EVI در پیوند با شاخص $LSWI_{21.05}$ پایین‌تر است و می‌تواند - به دلیل فاکتورهای تعدیل خاک پس‌زمینه - در مقایسه با شاخص NDVI نتیجه مناسب‌تری داشته باشد؛ اما بعد از رشد گیاه، رابطه شاخص NDVI با $LSWI_{21.05}$ بهتر خواهد بود. بنابراین با برقراری این ارتباط می‌توان پراکنش مکانی شالیزارهای برنج را با استفاده از تصاویر محصول MODIS $13Q1$ در مقیاس منطقه‌ای تولید کرد. این امر می‌تواند در زمینه پایش زمین‌های شالیزاری به منظور استخراج اراضی نشا شده، تاریخ نشا و برداشت، تفکیک و زون‌بندی اراضی از لحاظ ارقام زودرس، تک‌کشت و دیررس با مقیاس منطقه‌ای و دوره زمانی بالا به منظور به‌روزرسانی دارای اهمیت باشد.

عوامل زیادی می‌توانند بر الگوریتم‌های شناسایی و تفکیک شالیزارهای برنج اثرگذار باشند. یکی از اصلی‌ترین عوامل در سری زمانی با استفاده از این محصول تقویم زراعی است، به طوری که تنوع ارقام در منطقه با تاریخ‌های نشاکاری نامنظم و دوره زمانی رشد متفاوت می‌تواند در شناسایی اثرگذار باشد. یکی دیگر از عوامل اثرگذار بر آلودگی منطقه است، به طوری که استفاده از محصولات ترکیبی سنجنده MODIS نیز در مواقع ابرناکی طولانی مدت قابل اعتماد نخواهد بود. بدین منظور تصاویر راداری می‌تواند مفید واقع شود و از داده‌های MODIS به‌عنوان داده کمکی استفاده گردد. توان تفکیک مکانی و زمانی نیز نقش مهمی در شناسایی شالیزارهای برنج ایفا می‌کند. محصولات سنجنده MODIS با قدرت تفکیک‌های زمانی ۸ و ۱۶ روزه و با توان تفکیک ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر می‌توانند گزینه مناسبی برای این منظور باشند، اما با توجه به اتمام دوره مأموریت سنجنده MODIS، سنجنده VIIRS^۱ با پهنای باند مشابه در قرمز و مادون قرمز با MODIS و توان تفکیک مکانی ۳۷۵ متر که در

1. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

- South America**, Remote Sensing of Environment, 114, PP. 2816-2832.
- Denier Van Der Gon, H., 2000, **Changes in CH4 Emission from Rice Fields from 1960s to 1990s: 1**, Impacts of modern rice technology. Global Biogeochemical Cycles, 1, PP. 61– 72.
- FAOSTAT, 2001, **Statistical Database of the Food and Agricultural Organization of the United Nations**.
- Han, Y.J., Li, J.P., Zhang, X.Y., Kang, Y.L., 2006, **Application of CEBRS in the Investigation of Paddy Rice Area in Ningxia**, Agric. Netw. Inf., 11, PP. 13-14 (in Chinese).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G, 2002, **Overview of The Radiometric and Biophysical Performance of The MODIS Vegetation Indices**, Remote Sensing of Environment, 83, PP. 195 - 203.
- Huete, A.R., Liu, H. Q., Batchily, K., and van Leeuwen, W., 1996, **A Comparison of Vegetation Indices Over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS**, Remote Sensing of Environment, 59, PP. 440-451.
- IRRI, 1993, **1993–1995 IRRI Rice Almanac**, Manila, In: International Rice Research Institute.
- J. T. Houghton, Y.D., D. J. Griggs, M. Noguier, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (Eds.), 2001, **Climate Change 2001**, Cambridge, UK: Cambridge University Press, PP. 239–287.
- John J. Qu , W.G., Menas Kafatos ,Robert E. Murphy ,Vincent V. Salomonson, 2006, **Earth Science Satellite Remote Sensing**, Data, Computational Processing, and Tools.
- Leff, B., Ramankutty, N., Foley, J.A, 2004, **Geographic Distribution of Major Crops Across the World**, Global Biogeochemical Cycles, 18, GB1009.
- Maclean, J.L., Dawe, D.C., Hardy, B., Hettel, G.P, 2002, **Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth**, CABI Publishing.
- Matthews, E., Fung, I., Lerner, J., 1991, **Methane Emission from Rice Cultivation: Geographic and Seasonal Distribution of Cultivated Areas and Emissions**, Global Biogeochemical Cycles, 5, PP. 3-24.
- Nuarsa I.W. , F.N., C. Hongo, 2010, **Development of the Empirical Model for Rice Field Distribution Mapping Using Multi-Temporal Landsat Etm-Data: Case Study in Bal Indonesia**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, XXXVIII.
- Okamoto, K., Kawashima, H., 1999, **Estimating of Rice-planted Area in the Tropical Zone Using a Combination of Optical and Microwave Satellite Sensor Data**, Int. J.Remote Sensing of Environment, 20(5), PP. 1045-1048.
- Peng, D., Huete, A.R., Huang, J., Wang, F., & Sun, H., 2011, **Detection and Estimation of Mixed Paddy Rice Cropping Patterns**

- with MODIS Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13, PP. 13-23.
- Ramon Solano, K.D., Andree Jacobson, Alfredo Huete, 2010, **MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series)**, In. The University of Arizona.
- Sinkyu, K., Steven, W.R., Jong-Hwan, L., Zhao, M.S., Chan-Ryul, P., Rachel, L., 2004, **A Regional Phenology Model for Detecting Onset of Greenness in Temperate Mixed Forests**, Korea: an application of MODIS leaf area index. Remote Sensing of Environment, 86, PP. 232-242.
- Vermote, E.F., Kotchenova, S.Y. Ray, J.P., 2006, **Atmospheric Correction for the Monitoring of Land Surface**, Journal of Geophysical Research.
- Wardlow, B.D., Egbert, S.L., & Kastens, J.H., 2007, **Analysis of Time-series MODIS 250 m Vegetation Index Data for Crop Classification in the U.S. Central Great Plains**, Remote Sensing of Environment, 108, PP. 290-310.
- Xiao, X., Boles, S., Frohling, S., Li, C., Babu, J.Y., Salas, W., & Moore Iii, B., 2006, **Mapping Paddy Rice Agriculture in South and Southeast Asia Using Multi-temporal MODIS Images**, Remote Sensing of Environment, 100, PP. 95-113.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Frohling, S., Li, C., Salas, W., & Moore Iii, B., 2005, **Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-temporal MODIS Images**, Remote Sensing of Environment, 95, PP. 480-492.