

پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، زمستان ۱۳۸۸
صص ۶۵-۷۷

بررسی قابلیت داده‌های چندزمانه ENVISAT-ASAR

به منظور تفکیک زمانی و مکانی مزارع برنج

علی درویشی بلورانی* - دکتری سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
ایرج غلامی - دکتری اختر فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه گوتینگن آلمان
فردین میرزاپور - کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات، مرکز تحقیقات مخابرات ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۳/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۸/۲۵

چکیده

شرایط اقلیمی و جوی گرم و مرطوب در مناطق زیر کشت برنج در جنوب شرق آسیا منجر به عدم تطابق زمانی در مراحل کاشت، داشت و برداشت در مناطق مختلف از یک ناحیه زراعی و حتی در مزارع مجاور گردیده است. علاوه بر تفاوت‌های ناشی از دوره‌های زمانی کشت، که ضرورت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه را دوچندان کرده است، مناطق زیر کشت برنج در جنوب شرق آسیا غالباً مناطقی ابری هستند که ضرورت استفاده از فناوری تصویربرداری ماهواره‌ای فعال، نظیر رادار (RADAR) و سار (SAR)، را در این مناطق کاملاً آشکار می‌سازند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه ENVISAT-ASAR به منظور پایش و تفکیک مکانی و زمانی مزارع برنج است. دره پالو، سولاویزی مرکزی، در اندونزی به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است. تصاویر مورد بررسی در مد چند - پلاریمتریک به وسیله ماهواره ENVISAT در یک بازه زمانی از چهارم فوریه تا بیست و هشتم ژوئیه سال ۲۰۰۴ میلادی گرفته شده‌اند. داده‌های مورد بررسی شامل دو مجموعه داده‌ای اولیه و پنج مجموعه داده‌ای ثانویه (داده‌های حاصل از عملیات جبری بر روی داده‌های اولیه) است. داده‌های اولیه یا خام شامل اینهاست: (۱) Co-Polarized HH, VV و (۲) Cross-Polarized HV, VH و داده‌های مشتقی یا ثانویه شامل: (۱) میانگین بافت داده‌های Co-Polarized (۲) میانگین بافت داده‌های Cross-Polarized (۳) تفریق زمانی داده‌ها، (۴) تفریق Polarization و (۵) تفریق Polarization نرمال شده. در پژوهش حاضر، رابطه مشاهده شده بین تغییرات ناشی از رشد گیاه و میزان بازخورد ثبت شده سنجنده به عنوان اطلاعاتی مفید برای تفکیک مزارع برنج با استفاده از تصاویر چندزمانه مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. به منظور بررسی دقت نتایج به دست آمده، تصاویر ماهواره‌ای Quickbird چندطیفی با قدرت تفکیک فضایی بالا (۲/۴ متر) که تقریباً همزمان با داده‌های ENVISAT-ASAR برداشت گردیده است، در کنار اطلاعات حاصل از کار میدانی، مورد استفاده قرار گرفت. بررسی نتایج به دست آمده از تفکیک مکانی مزارع برنج حاکی از بالاترین میزان دقت کلی (۸۸ درصد) برای مجموعه داده اولیه Co-Polarized بوده در حالی که مجموعه داده ثانویه Co-Polarized نرمال شده کمترین میزان دقت کلی (۸۰ درصد) را ارائه کرده است.

کلیدواژه‌ها: داده‌های چندزمانه SAR، ENVISAT-ASAR، تفکیک زمانی و مکانی مزارع برنج.

مقدمه

برنج به‌عنوان دومین ماده غذایی اصلی در تغذیه بشر، ۱۵ درصد از اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی در جهان را به خود اختصاص داده است (Ribbes et al., 1999). برنج در آسیا ۹۴ درصد از کل مزارع برنج دنیا را به خود اختصاص داده است و به‌عنوان مهمترین منبع تغذیه بشر (تقریباً ۳۵ درصد) و همچنین یکی از مهم‌ترین منابع کسب درآمد مردم در شرق و جنوب شرق آسیا شناخته می‌شود (IRRI, 2006). در طبقه‌بندی کلی، برنج به ارقام زودرس (۱۳۰ تا ۱۴۵ روز)، متوسط‌رس (۱۵۰ تا ۱۶۰ روز) و دیررس (۱۷۰ تا ۱۸۰ روز) تقسیم می‌شود. ریشه برنج سطحی است و حداکثر در عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک نفوذ می‌کند. ساقه برنج بندبند و توخالی است و در فواصل مختلف گره‌ها قرار دارند. برنج دارای برگ‌های متناوب در دو جانب متقابل ساقه است. در ارقام زودرس ۱۴ تا ۱۵ برگ، در ارقام متوسط‌رس ۱۶ تا ۱۷ برگ و در ارقام دیررس ۱۸ تا ۱۹ برگ بر روی هر ساقه قرار دارد. گرده‌افشانی تقریباً هم‌زمان با باز شدن گل‌ها در شرایط دمایی بین ۳۱ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد روی می‌دهد. در دمای پایین‌تر از ۱۰ تا ۱۳ و بالاتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد گرده‌افشانی متوقف می‌گردد. تیپ‌های برنج در سطح بین‌المللی به تیپ‌های جاوه‌ای، ژاپنی و هندی تقسیم می‌شوند. میانگین دمای مورد نیاز برنج هنگام رشد بین ۲۰ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد است. نور، عاملی مؤثر در رشد گیاه است و شدت آن در اوایل فصل زراعی می‌تواند عامل محدودکننده‌ای برای رشد برنج قلمداد شود، در حالی که با نزدیک شدن به پایان فصل زراعی - به‌ویژه هنگام تشکیل خوشه - رقابت برای جذب نور بین بوته‌ها افزایش می‌یابد. رطوبت مناسب برای گلدهی گیاه برنج بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است و رطوبت کمتر از ۴۰ درصد عامل بازدارنده‌ای برای گلدهی گیاه به‌شمار می‌آید. برنج، گیاهی آب‌دوست و غیرآبزی است. ۸۰ درصد آب مورد نیاز برنج تولید شده در جهان، به‌ویژه در نقاط استوایی، از آب باران تأمین می‌گردد که شرایطی غالباً ابری را برای این مناطق می‌طلبد. ۲۰ درصد باقی‌مانده را از آب رودخانه و آب چاه تأمین می‌کنند. دمای مناسب آب برای برنج بین ۱۹ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. در صورت تأمین آب کافی، برنج در خاک‌های مختلف اعم از فقیر تا غنی به عمل می‌آید. البته مقدار آب مصرفی در خاک‌های سبک بیش از خاک‌های سنگین است. مناسب‌ترین خاک برای کشت برنج، خاک رسی با لایه نفوذناپذیر در عمق ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری و همراه با مقدار زیادی مواد آلی است (USDA^۲; Wikipedia, IRRI-WRS^۱, 2009).

به دلیل وجود موانع محیطی و مشکلات اقتصادی، به‌دست آوردن اطلاعات کمی و کیفی از مزارع برنج معمولاً با موانع جدی مواجه است. فناوری سنجش از دور و تکنیک‌های پردازش این داده‌ها ابزارهایی سودمند برای تهیه اطلاعات روزآمد، دقیق و قابل اعتماد به‌شمار می‌آیند. در دسترس بودن تصاویر اپتیکی ماهواره‌ای، با تنوع بالای قدرت تفکیک‌های طیفی، زمانی و مکانی می‌تواند پتانسیل‌های بالایی را برای بررسی و مطالعه محصولات کشاورزی فراهم آورد. محدودیت‌های موجود در استفاده از تصاویر اپتیکی چندزمانه به‌خاطر واقع شدن نواحی کشت برنج در مناطق غالباً

1. International Rice Research Institute
2. United States Department of Agriculture
3. International Rice Research Institute-World Rice Statistics

ابری، استفاده از تصاویر رادار^۱ (RADAR) و سار^۲ (SAR) را ضرورت بخشیده است. در این نواحی، تصاویر اپتیکی چندزمانه بدون ابر با ضمانت بسیار پایین دست یافتنی است. (Ribbes et al., 1999). ویژگی‌های برجسته داده‌های رادار و سار همچون مستقل بودن از تابش نور خورشید و شرایط جوی و اقلیمی و همچنین قابلیت نفوذ در ابر، قابلیت بالایی را برای مطالعه و بررسی مزارع برنج فراهم آورده است. مطالعات زیادی براساس رابطه بین میزان بازخوردی^۳ ثبت شده به وسیله سنجنده و برنج انجام گرفته است. به عنوان نمونه T. Le Toan و همکاران در سال ۱۹۸۹؛ T. Kurosu و همکاران در سال ۱۹۹۵؛ T. Le Toan و همکاران در سال ۱۹۹۷ به ارتباط مستقیم و مثبت بین میزان بازخوردی برنج با فرایند رشد گیاه بر اثر افزایش میزان توده زیستی آن اشاره کرده‌اند. همچنین Shao Yun و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از ضریب کالیبراسیون رادارست به تحلیل رابطه بین مراحل رشد برنج و ضرایب بازخوردی پرداختند. با توجه به میزان بالای بارندگی در مناطق گرم و مرطوب استوایی نظیر اندونزی، الگوهای فصلی ویژه‌ای برای کشت برنج وجود ندارد (Minas et al., 2000). با وجود این، به عنوان قاعده‌ای کلی برای نواحی زیر کشت برنج در منطقه مطالعاتی در کشور اندونزی، می‌توان به دو فصل کشت در هر سال زراعی اشاره کرد: (۱) فصل کشت خشک (تابستانه) به طور متوسط ۱۳۰ روز از مارس تا ژوئیه - اوت، و (۲) فصل تر (زمستانه) به طور متوسط ۱۴۵ روز از نوامبر تا آوریل. با توجه به تقویم زمانی فوق می‌توان داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر را در فصل زراعی خشک قرار داد.

در این پژوهش، قابلیت‌های تصاویر چندزمانه و چندپولاریزه ENVISAT-ASAR براساس تحلیل داده‌های اولیه و ثانویه به دست آمده، در تحلیل زمانی و فرایند طبقه‌بندی ارزیابی گردید. سنجنده^۴ ASAR در ماهواره ENVISAT (پرتاب در اول مارس ۲۰۰۲) در باند C (طول موج ۵/۶ سانتی‌متر) فعال بوده که در آن Volume Scattering تاج پوشش گیاه فرایند است. براساس نتایج به دست آمده، می‌توان ادعا کرد که این داده‌ها قابلیت‌های خوبی در پایش و تفکیک زمانی و مکانی مزارع برنج دارند.

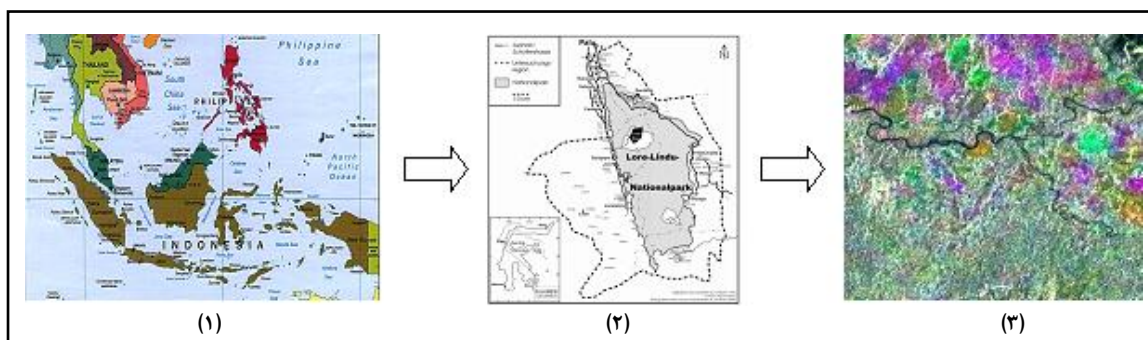
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دره پالولو، یکی از مهمترین نواحی کشت برنج در ایالت سولاووزی در کشور اندونزی واقع گردیده است. ایالت سولاووزی بین جزایر سوندا قرار گرفته که حدود ۶۰ درصد از کل مساحت آن زیر پوشش جنگل‌های مرطوب متراکم و نیمه‌متراکم استوایی واقع است. پارک ملی لتندو به مساحت ۲۲۹۰۰۰ هکتار در مرکز منطقه مطالعاتی پروژه^۵ STORMA قرار گرفته است (شکل ۱). دره پالولو در شمال شرق پارک ملی لیتندو جای گرفته است (E 120° 3' 53.78", S 1° 8' 31.68" و E 120° 6' 21.63", S 1° 11' 16.75"). منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۳/۵ کیلومتر مربع، دارای پوشش‌هایی شامل

1. Radio Detection and Ranging
2. Synthetic Aperture RADAR
3. Backscatter
4. Advanced SAR
5. Stability of Rainforest Margins in Indonesia

جنگل‌های متراکم، جنگل‌های باز، مزارع برنج، کاکائو، قهوه، ذرت و پوشش‌های غیرگیاهی شامل خاک لخت، مناطق مسکونی و رودخانه است (شکل ۱).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در مقیاس‌های متفاوت. (۱) اندونزی، (۲) پارک ملی لیندو (منطقه مطالعاتی پروژه STORMA)، (۳) تصویر ترکیب رنگی کاذب داده‌های چندزمانه ENVISAT-ASAR.

تصاویر ماهواره‌ای

داده‌های به‌کار رفته اعم از تصاویر ماهواره‌ای و کارهای میدانی در قالب پروژه STORMA در دانشگاه گوتینگن آلمان خریداری و تهیه گردیده‌اند. تصاویر مورد ارزیابی که مجموعه داده‌ای چندزمانه‌ای است شامل ۶ مجموعه تصویری در دو مد متفاوت پولاریزیشن VV^1 , HH^2 و $Co-Polarized HV, VH$ که در تاریخ‌های ۴ فوریه، ۱۰ مارس، ۱۴ آوریل، ۱۹ می، ۲۳ ژوئن، و ۲۸ ژوئیه دریافت شده‌اند.

ویژگی‌های داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش آنها

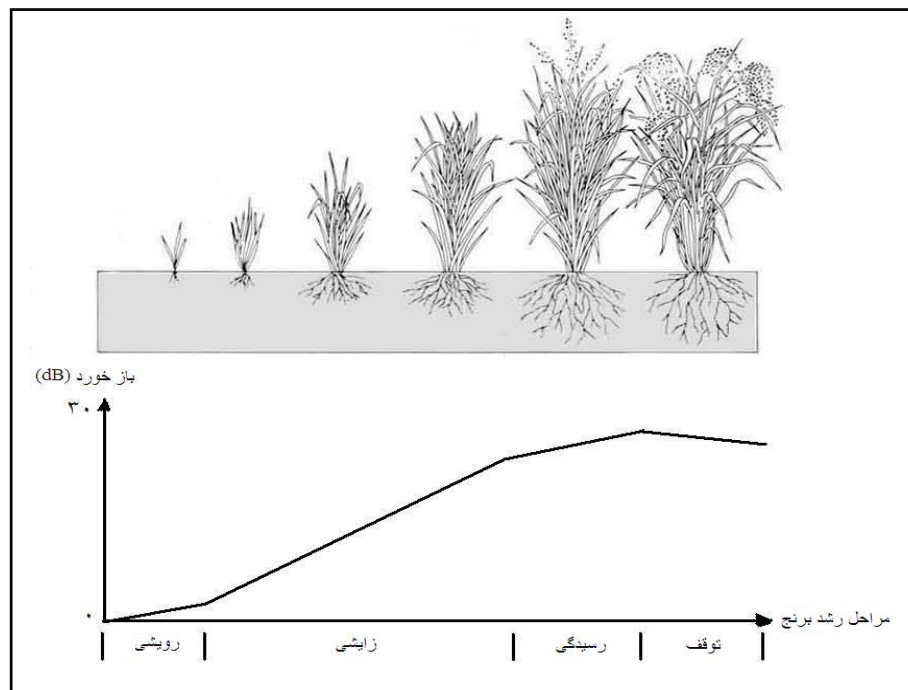
ویژگی‌های بازخوردی تصاویر SAR در مزرعه‌های برنج

براساس Li و همکاران (۲۰۰۳)؛ Ribbes و همکاران (۱۹۹۹)؛ Okomoto و Kawashima (۱۹۹۹) برای تجزیه و تحلیل داده‌های سار و رادار به‌منظور استخراج اطلاعات کمی و کیفی زمین‌های زیرکشت برنج، عموماً دو دسته از پارامترها مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند: (۱) پارامترهای مرتبط با محصول برنج شامل تغییرات زمانی، تغییرات زیستی^۳، میزان توده زیستی^۴، ارتفاع ساقه برنج، میزان محتویات آب گیاه و مانند اینها، و (۲) پارامترهای مرتبط با داده‌های SAR شامل ضرایب بازخورد، پولاریزیشن، زاویه فرود پالس و سایر پارامترها. مهمترین فرض پژوهش حاضر، استفاده همزمان تغییرات زمانی محصول، تغییرات ضرایب بازخوردی و تنوع پارامترهای پولاریزیشن داده‌های چندزمانه ENVISAT-ASAR است.

1. Vertical Vertical
2. Horizontal Horizontal
3. Phenological changes
4. Biomass

مراحل رشد گیاه را می‌توان به ۴ مرحله تقریباً مستقل تقسیم کرد: (۱) مرحله رویشی^۱ (از جوانه‌زنی تا اوایل خوشه‌زنی) با مقادیر بازخوردی بسیار پایین ناشی از Surface Scattering و میزان نسبتاً بالای آب، (۲) مرحله زایشی^۲ (تشکیل خوشه تا گل‌دهی) همراه با افزایش سریع بازخورد ناشی از Surface-Volume Scattering، (۳) مرحله رسیدگی^۳ (از گل‌دهی تا بلوغ دانه) همراه با سیر صعودی ملایم و گاه پایدار ناشی از Volume Scattering و (۴) مرحله توقف رشد همراه با سیر پایدار و گاه کاهش میزان بازخورد ناشی از Volume Scattering (Le Toan T. و همکاران ۱۹۹۷؛ IRRI ۲۰۰۶؛ Minas و همکاران ۲۰۰۰).

موارد مطرح شده، برای تمامی گونه‌های برنج - چه از لحاظ دوره رشد و چه از لحاظ میزان بازخوردی - یکسان نیست. به عنوان نمونه در شکل ۷ مزرعه شماره یک بعد از نقطه اوج در ۱۴ آوریل نه‌تنها روند تثبیت‌شده‌ای ندارد، بلکه روندی کاهشی را نیز طی می‌کند. مراحل رشد برنج و رابطه آن با میزان بازخورد ثبت‌شده به وسیله سنجنده‌های SAR در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. مراحل رشد برنج و رابطه آن با میزان بازخورد ثبت‌شده به وسیله سنجنده SAR

آماده‌سازی داده‌ها

با توجه به میزان بالای اعوجاج رادیومتریک و ژئومتریک، مراحل پیش‌پردازش برای حذف این اعوجاجات اجتناب‌ناپذیر

1. Nursery
2. Vegetative
3. Reproductive

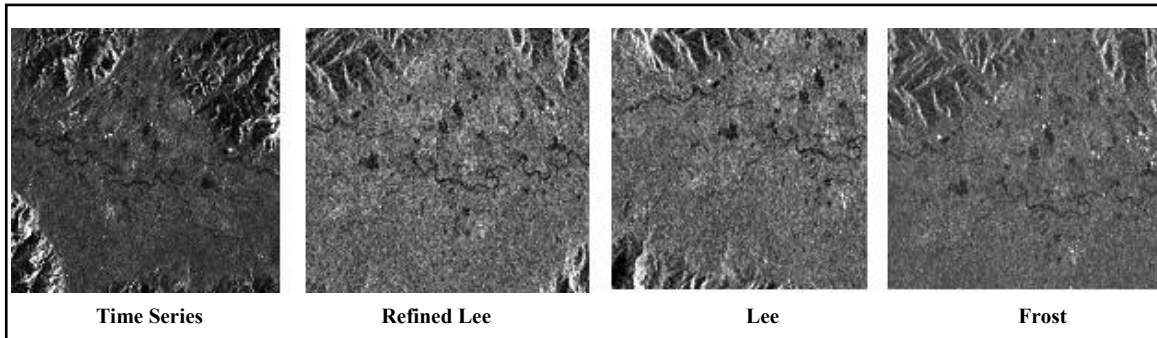
می‌نماید. پیش‌پردازش‌های تمرکز^۱ و Multi-Looking Evaluation به‌عنوان پیش‌پردازش برای مراحل بعدی انجام گردید. با استفاده از مدل رقومی زمین در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ براساس روش Backward Geocoding موجود در SARscape، داده‌ها از لحاظ ژئومتریک تصحیح گردیدند. کالیبراسیون رادیومتریک داده‌ها براساس معادلات متداول راداری انجام پذیرفت، و در آن تصحیح مربوط به Scattering Area و Antenna Gain Pattern و سرانجام تصحیحات Range Spread Loss برای تمامی داده‌ها انجام گرفت (Bamler, 1995). با استفاده از الگوریتم Range-Doppler (McDonough & Gurlander, 1991) برای تمامی نقاط موجود در DEM موقعیت نقشه‌ای و موقعیت مشابه آنها در سامانه مختصات تصویر مشخص گردید (SARscape User Guide, 2006). به‌منظور تعیین قدرت تفکیک فضایی، عدد ۴ برای Azimuth و عدد ۱ برای Range داده‌ها انتخاب گردید (Hermann, 2006). در نتیجه، تصاویری با قدرت تفکیک فضایی معادل ۱۲/۵ متر تولید شد.

مرحله بعد در فرایندهای پیش‌پردازش به حذف نویزهای لکه‌ای^۲ است. این نویزها که عمدتاً ناشی از برهم‌کنش امواج ساطع‌شده از سنجنده و سطح عوارض زمینی‌اند (ASAR Product Handbook, 2006) و از ویژگی‌های جدانشدنی داده‌های SAR به‌شمار می‌آیند، به‌طور تصادفی در سطح تصویر پخش می‌شوند. به‌طور کلی می‌توان تکنیک‌های حذف نویز را به ۳ گروه عمده فیلترهای متعارف^۳، تکنیک‌های Multilook و تکنیک‌های مبتنی بر داده‌های چندزمانه، تقسیم کرد.

در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از ۴ فیلتر متفاوت شامل Lee, 1998؛ Lee؛ Refined Lee؛ Frost و همکاران، 1982 و Time Series (De Grandi et al., 1999) برای پولاریزیشن‌های متفاوت (HH, VH, HV, VV) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. فیلتر Lee براساس سری‌های تیلور با ترکیب خطی مقادیر میانگین واریانس پیکسل‌های درون فیلتر عمل می‌کند. فیلتر Refined Lee مشابه فیلتر Lee عمل می‌کند، با این تفاوت که عملیات محاسبه در آن بر روی ۱۳ زیرپنجره^۴ انجام می‌گیرد و در پایان، زیرپنجره با کمترین میزان واریانس برای عملیات فیلتر کردن انتخاب می‌گردد. فیلتر Frost یا مربع میانگین کمترین خطا^۵ (MMSE) نوعی فیلتر غیرخطی است و همانند تابعی از میزان عدم تجانس^۶ اندازه‌گیری شده در فیلتر رفتار می‌کند. فیلتر سری‌های زمانی^۷ براساس محاسبه میانگین مقادیر پیکسل‌های داخل پنجره از تصاویر مستقل و Co-Register شده رفتار می‌کند. این فیلتر که اصلاح‌شده فیلتر Spatial Lee است، براساس میانگین مقادیر در بعد زمان در داده‌های چندزمانه کار می‌کند. در این روش، قدرت تفکیک مکانی تصاویر حفظ می‌شود، در حالی که میزان نسبت SNR^۸ داده‌ها افزایش می‌یابد (De Grandi و همکاران ۱۹۹۷). در مقایسه چشمی نتایج به‌دست آمده با داده‌های اپتیکی Quickbird-MS، فیلتر سری‌های زمانی برای حذف نویزهای لکه‌ای به‌عنوان بهترین روش انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، معیار تفسیر چشمی نتایج براساس همگن بودن

1. Focusing
2. Speckle
3. Conventional Filters
4. Sub Window
5. Minimum Mean Square Error
6. Heterogeneity
7. Time Series Filter
8. Signal to Noise Ratio

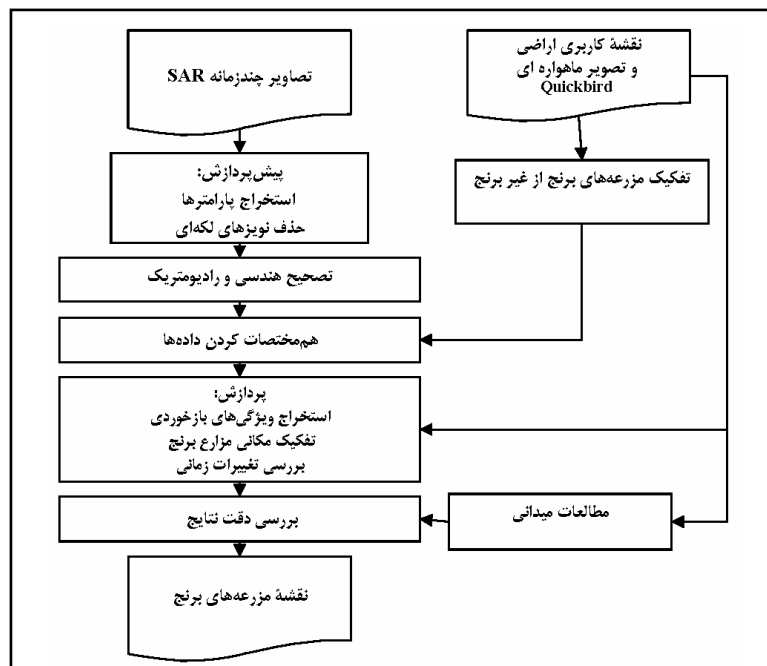
مزرعه‌ها، کاهش میزان نویز در سطح تصویر و در عین حال حفظ عوارض ساختاری (مثلاً رودخانه در امتداد شرقی - غربی در شکل ۳) بوده است. در مقایسه با نتایج سایر فیلترها، برتری فیلتر سری‌های زمانی در تمامی عوامل برشمرده شده، کاملاً آشکار است.



شکل ۳. مقایسه چشمی فیلترهای حذف نویزهای لکه‌ای

پردازش داده‌ها

در این مرحله، داده‌های پیش‌پردازش شده، به منظور تفکیک مکانی و زمانی مزرعه‌های برنج مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به فرض تحقیق، تغییرات مربوط به فرایند رشد گیاه با استفاده از داده‌های اولیه مقادیر بازخوردی ثبت شده به وسیله سنجنده، و داده‌های مشتق شده ثانویه براساس مراحل تشریح شده در شکل ۴ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. بررسی قابلیت‌های داده‌های خام اولیه (ردیف ۱ و ۲ در جدول ۱) و مجموع‌های داده‌های مشتق شده یا ثانویه (ردیف ۳ تا ۷ از جدول ۱) به طور مستقل انجام گرفت.



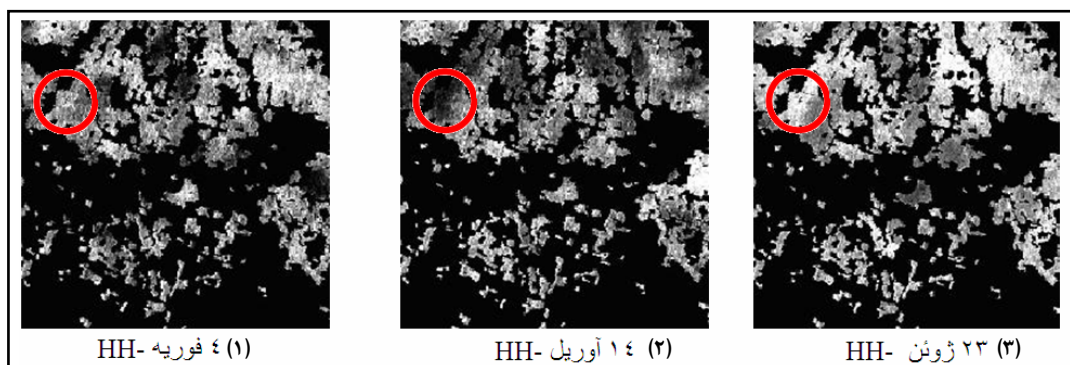
شکل ۴. مراحل انجام کار

جدول ۱. مجموعه داده‌های بررسی شده

مجموعه داده‌ای	توضیحات
۱. Co-Polarized (CoP)	$\{HH_{Feb}, VV_{Mar}, \dots\}$
۲. Cross-Polarized (CrP)	$\{HV_{Feb}, VH_{Mar}, \dots\}$
۳. Mean Texture for Cross-Polarized (MTCrP)	$\frac{\sum_{i=1}^n X_{Cross-polarised}}{n^*}$
۴. Mean Texture for Co-Polarized (MTCoP)	$\frac{\sum_{i=1}^n X_{Co-polarised}}{n^*}$
۵. Polarization Mode Subtraction (PMS)	$\{HH_{Feb} - HV_{Feb}, VV_{Mar} - VH_{Mar}, \dots\}$
۶. Monthly Subtraction for Co-Polarized (MSCoP)	$\{HH_{Feb} - VV_{Mar}, VV_{Mar} - HH_{Apr}, \dots\}$
۷. Normalized Polarization Subtraction (NPS)	$\left\{ \frac{HH_{Feb} - HV_{Feb}}{HH_{Feb} + HV_{Feb}}, \frac{VV_{Mar} - VH_{Mar}}{VV_{Mar} + VH_{Mar}}, \dots \right\}$

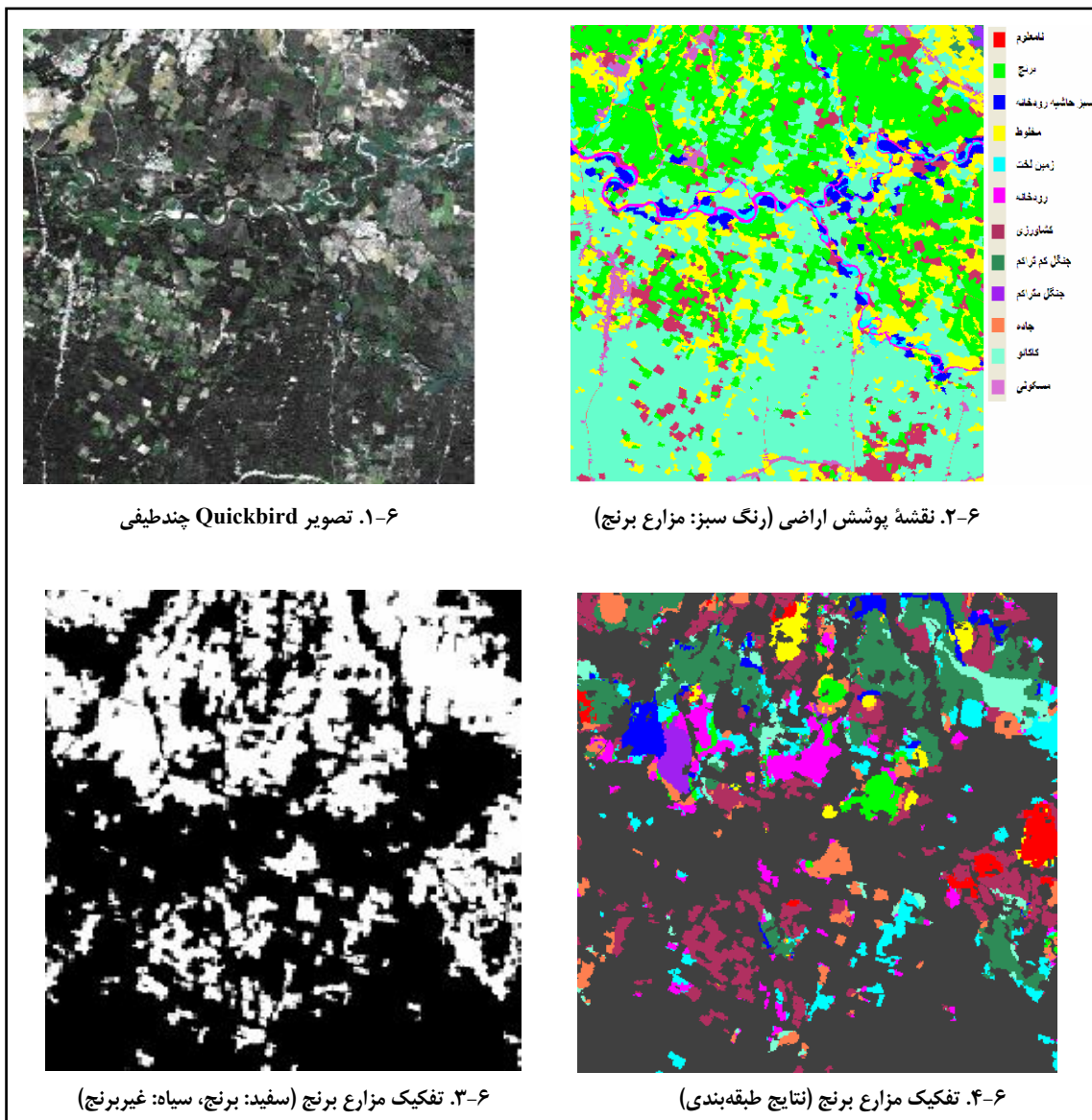
* تعداد پیکسل فیلتر مورد استفاده: ۳×۳ (۹ پیکسل)

با توجه به بررسی‌های میدانی و همچنین با استفاده از تصاویر اپتیکی Quickbird چندطیفی، تن‌های تیره‌تر - که نشان از میزان بالای آب در شالیزار و تطابق زمانی آنها با مراحل اولیه رشد دارد - در مقایسه با تن‌های روشن‌تر - که بیانگر مراحل بلوغ گیاه و افزایش میزان بازخورد است - تفکیک گردیدند. به کمک تفسیر چشمی و با توجه به برهم‌کنش‌های بین مزرعه‌های برنج و مقادیر ثبت‌شده بازخوردی (شکل ۲) روند رشد برنج در مزرعه‌های گوناگون تا حد بالایی شناسایی و از یکدیگر تفکیک گردیدند. الگوهای به‌دست آمده در این مرحله، به مبنایی برای بررسی‌های مربوط به تفکیک مکانی و زمانی مزرعه‌ها در مراحل بعدی بدل گشتند. به‌عنوان مثال، تغییرات در تن‌های خاکستری مزرعه‌های برنج در دایره مشخص شده در شکل ۵ مربوط به ۱۴ آوریل (منطبق بر مراحل اولیه فصل کشت تابستانه) در مقایسه با ۴ فوریه (منطبق بر مراحل پایانی فصل کشت زمستانه) کاهش شدیدی را نشان می‌دهد. در حالی که مقادیر بازخوردی برای همان مزرعه در تصویر ۲۳ ژوئن، نشان از افزایش شدیدی دارد - که منطبق بر مراحل رشد سریع گیاه است.



شکل ۵. تغییرات بازخورد در بازه زمانی ۶ ماهه با فواصل دو ماه، مجموعه داده‌ای Co-Polarized-HH

کل منطقه مورد مطالعه به دو کلاس برنج، معادل ۲۸ درصد و غیربرنج معادل ۷۲ درصد تقسیم گردید (شکل ۳-۶). به منظور تفکیک مکانی مزارع برنج، تمامی مجموعه داده‌ها اعم از اولیه و ثانویه به صورت جداگانه طبقه‌بندی گردیدند. به کمک تصویر Quickbird و کارهای میدانی انجام شده ۹ مجموعه داده‌ای تعلیمی، برای مزرعه‌هایی که از لحاظ زمانی تفکیک‌پذیر بودند، انتخاب شدند. با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، تمامی مجموعه داده‌ها به طور جداگانه طبقه‌بندی گردیدند (شکل ۴-۶) و در پایان به منظور بررسی نتایج به دست آمده، برای تمامی مجموعه‌های داده‌ای، مقادیر صحت کلی^۱ و ضریب کاپا محاسبه گردید (جدول ۲).



شکل ۶. (۱) تصویر رنگی Quickbird چندطیفی به منظور استخراج نمونه‌های تعلیمی برای فرایند طبقه‌بندی و کنترل چشمی مزارع برنج، (۲) نقشه پوشش اراضی به منظور تفکیک مزارع برنج از غیربرنج و استخراج نمونه‌هایی تعلیمی برای فرایند طبقه‌بندی، (۳) مزارع تفکیک‌شده برنج از غیربرنج، و (۴) نقشه تفکیک مکانیکی مزارع برنج براساس طبقه‌بندی حداکثر احتمال

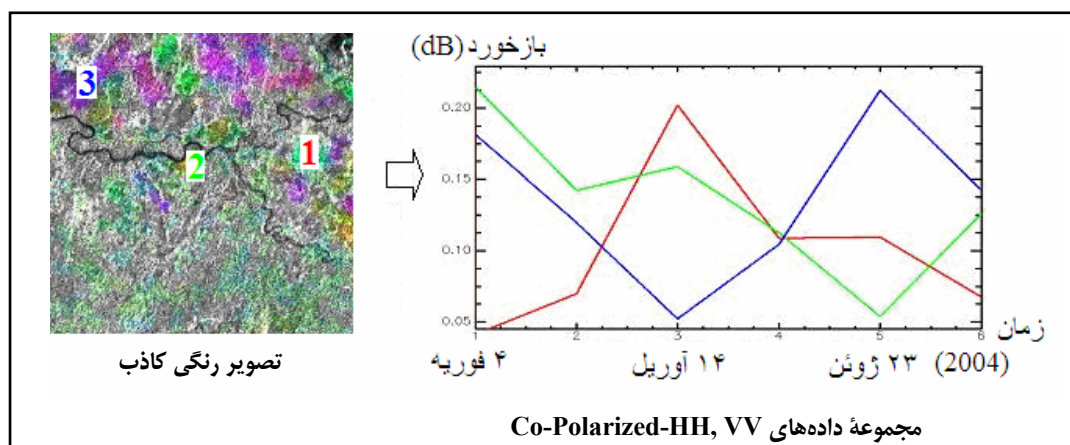
1. Overall accuracy

جدول ۲. مقادیر کلی صحت و ضریب کاپا برای تمامی مجموعه‌های داده‌ها

مجموعه‌های داده‌ای	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
۱. CoP	۸۸/۰۵	۰/۸۶۷
۲. MTCrP	۸۶/۵۷	۰/۸۵۱
۳. MTCoP	۸۵/۳۹	۰/۸۳۸
۴. CrP	۸۴/۴۴	۰/۸۲۸
۵. PMS	۸۳/۴۹	۰/۸۱۷
۶. MSCoP	۸۲/۳۹	۰/۸۰۵
۷. NPS	۸۰/۲۳	۰/۷۸۱

یافته‌های تحقیق

با توجه به نیاز شدید نواحی کشاورزی به پایش دائمی (به‌ویژه نواحی گرم و مرطوب استوایی که تصاویر ماهواره‌ای اپتیک با محدودیت ناشی از وجود ابر مواجه‌اند) و همچنین رشد روزافزون فناوری سار، می‌توان به یافته‌های پژوهش حاضر اشاره کرد. تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای سار قابلیت بالایی در بررسی تغییرات ناشی از رشد فیزیکی برنج در منطقه مطالعاتی تحقیق نشان دادند. مطالعات مربوط به تغییرات زمانی که به‌صورت بررسی رابطه بین تغییرات در میزان بازخورد و تغییرات در رشد گیاه انجام پذیرفت، نشان از انطباق رشد گیاه با مقادیر بازخوردی به دست آمده با تصاویر چندزمانه دارد. به‌عنوان مثال، شکل ۷ تغییرات زمانی سه مزرعه برنج را که از لحاظ زمانی تطابق ندارند، در مجموعه داده‌ای Co-Polarized نشان می‌دهد.



شکل ۷. تغییرات میزان بازخوردی داده‌ها و ارتباط آن با تغییرات ناشی از رشد گیاه

گیاه برنج از منظر تغییرات میزان بازخوردی و ارتباط آن با فرایند رشد گیاه، رفتاری قابل مدل کردن دارد. بنابراین، در صورت موجود بودن برنامه‌های زمانی مربوط به کاشت و اطلاعات گونه‌شناسی برنج، می‌توان به پیش‌بینی تغییرات

آنی محصول پرداخت. با توجه به اطلاعات میدانی موجود و تفسیر چشمی تصویر Quickbird چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی ۲/۴ متر، میزان بازخورد به دست آمده برای قطعه زراعی شماره ۱ (شکل ۷) در ابتدای فصل کشت به میزان ۰/۰۱ dB یا کمترست. درحالی که در مراحل پایانی، میزان بازخورد به حدود ۲۰ dB می‌رسد، که منطبق بر حداکثر میزان رشد گیاه است. رابطه مذکور برای قطعات مجاور مثلاً ۳ و ۲ نیز صادق و قابل اندازه‌گیری است.

نتیجه‌گیری

فرض اصلی پژوهش حاضر، بر آن است که تغییرات زمانی داده‌ها و همچنین طبقه‌بندی و تفکیک مکانی آنها - که نشان از تغییرات مربوط به فرایند رشد برنج دارند - با استفاده از مقادیر خام بازخوردی ثبت شده به وسیله سنجنده و یا با استفاده از داده‌های مشتق شده ثانویه قابل اندازه‌گیری هستند. تفکیک مکانی مزارع (شکل ۴-۶ و جدول ۲) بیانگر این واقعیت است که داده‌های اولیه و داده‌های به دست آمده از تحلیل بافت بهترین نتایج را به دست دادند، در حالی که سایر مجموع‌های داده‌ای نتایج نسبتاً ضعیف‌تری ارائه کرده‌اند. به عنوان نمونه، در حالی که مجموعه داده‌ای CoP (جدول ۱) بالاترین صحت یعنی ۸۸ درصد سحت کل را به دست آورده است، مجموعه داده‌ای NPS با صحتی معادل ۸۰ درصد پایین‌ترین صحت کل را ارائه کرد. مجموعه داده‌های مربوط به تحلیل بافت در مقایسه با CrP نتایج نسبتاً خوبی در تفکیک مکانی و زمانی مزرعه‌های برنج از خود نشان دادند، ولی در مقایسه با داده‌های خام CoP نتایج ضعیف‌تری ارائه کردند.

نکته حائز اهمیت دیگر، مربوط به داده‌های ثانویه با استفاده از عملگر تفریق است، که در تمامی موارد اعم از PMS و NPS و MSCoP نتایج ضعیفی ارائه کرده است. بنابراین، تأثیرات تغییرات ناشی از رشد گیاه در بازخوردهای ثبت شده به وسیله سنجنده ASAR به صورت اولیه نتایج بهتری از داده‌های مشتقی ثانویه ارائه کردند. استفاده از داده‌های چندزمانه سار به عنوان ابزاری کارآمد در پایش رفتارهای ناشی از رشد گیاه در نواحی مشابه (مثلاً شالیزارهای شمال ایران) مناسب به نظر می‌رسد. تصاویر چندزمانه در تلفیق با داده‌های میدانی و تصاویر با قدرت تفکیک بالا، قابلیت بالایی برای پایش و شناسایی مزرعه‌های برنج فراهم می‌آورند. بررسی مزرعه‌های برنج در بازه زمانی ۴ ماهه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای مدل‌سازی زمانی و تفکیک مکانی مزارع فراهم آورد. داده‌های Polarization-HH به رشد و توسعه گیاه حساسیت بیشتری نشان دادند، که نکته‌ای مهم در تحقیقات بعدی به شمار می‌آید. یکی از محدودیت‌های استفاده از داده‌های سار، مربوط به تفسیر چشمی این داده‌هاست، که نیاز به بهبود تکنیک‌های رقومی و ماشینی را دوچندان می‌کند. به عنوان نتیجه‌گیری کلی برای این تحقیق می‌توان چنین ذکر کرد که داده‌های چندزمانی ENVISAT-ASAR دارای قابلیت مناسبی در تفکیک و اندازه‌گیری تغییرات ناشی از رشد گیاه است.

سپاس‌گزاری

با تشکر از DFG^۱ به خاطر تأمین منابع مالی پروژه SFB 552-STORMA و تمامی افرادی که از نتایج تحقیقات و کارهای علمی و اجرایی آنها در این پژوهش بهره گرفته شده است. از پرفسور مارتین کاپاس و دکتر استفان اراسمی از گروه کارتوگرافی، سنجش از دور و GIS دانشگاه گوتینگن آلمان به خاطر فراهم آوردن داده‌ها و مشاوره‌های علمی ارزشمندشان سپاس به عمل می‌آید.

منابع

- ASAR Product Handbook, 2006, Retrieved from <http://envisat.esa.int/handbooks/asar> .
- Bamler, R., 1991, **Optimum Look Weighting for Burst-Mode and ScanSAR Processing**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 33, 722-725.
- Brouwer, C., Prins, K., & Heibloem, M., 1989, **Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling**, FAO.
- Curlander, J.C., & McDonough, R.N., 1991, **Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing**, John Wiley and Sons.
- De Grandi, F., Lee, J. S., Schuler, D., Kattenborn, G., Holecz, F., Pasquali, P., et al, 1999, **Singularity Analysis with Wavelets in Polarimetric SAR Imagery for Vegetation Mapping Applications**, *Proc. IGARSS'99, EE05_06*. Hamburg, Germany.
- Frost, V.S., Stiles, J.A., Shanmugan, K.S., & Holtzman, J.C., 1982, **A Model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise**, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* , 4 (2), 157-166.
- Herrmann, D. (n.d.), **Kartierung Tropischer Kulturpflanzen und Deren Veränderung mit Hilfe Multitemporaler und Multipolarametrischer SAR-Satellitendaten (ENVISAT/ASAR) in Zentral-Sulawesi, Indonesien**, Goettingen University: MSc. Thesis.
- International Rice Research Institute (IRRI)*, 2000, Retrieved from <http://www.cgiar.org/irri/Riceweb/>.
- International Rice Research Institute World Rice Statistics (IRRI-WRS), 2009, Retrieved from http://beta.irri.org/solutions/index.php?option=com_content&task=view&id=250.
- Kurosou, T., Fujita, M., and Chiba, K., 1995, **Monitoring of Rice Crop Growth from Space Using ERS-1 C-band SAR**, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 33, 1092-1096.
- Kursou, T., Fujita, M. & Chiba, K., 1997, **The Identification of Rice Fields Using Multi-temporal ERS-1 C band SAR data**, *International Journal of Remote Sensing* , 18 (14), 2953± 2965.
- Le Toan, T., Laur, H., Mougin E., and Lopes, A., 1989, **Multitemporal and Dual-Polarization**

1. German Research Council

- Observations of Agricultural Vegetation Covers by X-band SAR Images**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 27, 709-717.
- Le Toan, T., Ribbes F., Wang L.-F., Floury, N., Ding, K.-H., Kong J. A., Fujita, M., and Kurosu, T., 1997, **Rice Crop Mapping and Monitoring Using ERS-1 Data Based on Experiment and Modeling Results**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 35, 41-56.
- Lee, J.S., 1981, **Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images**, *Comp. Graph. Image Process* , 17, 24-32.
- Li, Y., Liao, Q., Li, X., Liao, S., Chi, G. & Peng, S., 2003, **Towards an Operational System for Regional-scale Rice Yield Estimation Using a Time-series of Radarsat ScanSAR Images**, *International Journal of Remote Sensing* , 24 (21), 4207–4220.
- Minas, K., Dent, F.J., & Herath, E.M., 2000, **Bridging the Rice Yield Gap in the Asia-Pacific Region**, **FAO**, Retrieved from <http://www.fao.org>.
- Nina-Kathrin, R., 2006, **Object Oriented Image Analysis of High Resolution Satellite Imagery: A Land Cover Change Analysis in the Palolo Valley, Central Sulawesi, Indonesia, Based on Quickbird and IKONOS Satellite data**, Goettingen University.
- Okomoto, K. & Kawashima, H., 1999, **Estimation of Rice-planted Area in the Tropical Zone Using a Combination of Optical and Microwave Satellite Sensor Data**, *International Journal of Remote Sensing* , 20 (5), 1045-1048.
- Ribbes, F. & Le Toan, T., **Rice Field Mapping and Monitoring with RADARSAT Data**, *International Journal of Remote Sensing* , 20 (4), 745-765.
- SARscape User Guide., 2006, **Retrieved from Sarmap Homepages**, http://www.sarmap.ch/SARscape_flyer.pdf.
- Shao, Y., Fan, X. T., Liu, H., et al., 2001, **Rice Monitoring and Production Estimation Using Multitemporal RADARSAT**, *Remote Sensing Environment*, 76, 310-325.
- Sun, G. Q., Simonett, D. S., 1988, **A Composite L-band Radar Backscattering Model for Coniferous Forest Stands**, *Photogram Eng Remote Sensing*, 54(8), 1195-1201.
- United States Department of Agriculture (USDA)*, 2009, Retrieved from <http://www.ars.usda.gov/pandp/locations/locations.htm?modecode=62-25-05-00>.
- Wikipedia*, 2009, Retrieved from <http://www.wikipedia.org/>