

دستنامه فنی ۸

تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج مبتنی بر مدیریت آبیاری با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین

علی مختاران، حسین دهقانی سانجی و مریم محمدی



سال انتشار: ۱۴۰۳

بسم الله الرحمن الرحيم
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

دستنامه فنی:

تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج
مبتنی بر مدیریت آبیاری با استفاده از تکنیک
یادگیری ماشین

تهیه و تدوین:

علی مختاران، حسین دهقانی سانج و مریم محمدی

به ترتیب عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی
استان خوزستان، عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
و کارشناس ارشد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی

سال انتشار:

۱۴۰۳



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: دستنامه فنی

عنوان نوشتار: تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج مبتنی بر مدیریت آبیاری با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین

نگارندگان: علی مختاران، حسین دهقانی‌سانج و مریم محمدی

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن‌دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۳



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ۶۵۲۴۲ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۳/۰۱/۲۶

مخاطبان دستنامه فنی

کارشناسان و مدیران تولیدات گیاهی و آب و خاک جهاد کشاورزی، کارشناسان و مدیران آب منطقه‌ای و کارشناسان اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این دستنامه فنی با:

- اصول تشخیص محصول مورد نظر در منطقه با استفاده از تکنیک سنجش از دور
- تشخیص محصول برنج براساس روش‌های مختلف کشت متکی بر مدیریت متفاوت آبیاری با استفاده از روش‌های سنجش از دور و
- استفاده از تکنیک یادگیری ماشین در پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE)

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱- مقدمه و هدف
۵	فصل ۲- شناخت سامانه‌های کاشت برنج و مدیریت آبیاری آن
۸	فصل ۳- شناخت استان خوزستان از منظر منابع آب و کشت برنج
۱۶	فصل ۴- فناوری سنجش از دور در تشخیص مزارع برنج و آشنایی با الگوریتم‌ها و ماهواره‌های کاربردی.....
۲۶	فصل ۵- اصول تشخیص مزارع برنج با روش‌های مختلف کشت در استان خوزستان.....
۳۶	فصل ۶- سطوح و نقشه‌های مزارع برنج به تفکیک روش‌های کاشت درحوضه‌های آبریز و جغرافیای شهرستانی.....
۵۵	فصل ۷- جمع‌بندی.....
۵۷	فهرست منابع.....

فصل اول

مقدمه و هدف

برنج چهارمین غله پرمصرف جهان و غذای بیشتر از نصف مردم، به خصوص در کشورهای در حال توسعه است (فائو^۱، ۲۰۱۹؛ درویش‌زاده^۲ و همکاران، ۲۰۱۱ و توربیک^۳ و همکاران^۴، ۲۰۱۷). این محصول یک سوم از کل سطح زیرکشت جهانی غلات را در بر دارد و ۳۵ تا ۶۵ درصد کالری مصرفی ۷/۲ میلیارد نفر را تامین می‌کند (کازمی‌پشته^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). تولید پایدار برنج چالشی بزرگ برای سیاست‌گذاران به حساب می‌آید (روی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶) و از این رو نظارت بر تغییرات فصلی سطوح کشت در مناطق اختصاص داده شده به اکوسیستم‌های محصول برنج برای تضمین امنیت غذایی و توسعه پایدار ضروری است (توره‌ی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱).

بیشتر از ۹۰ درصد محصول برنج جهان به دلیل آب و هوای گرم و مرطوب (عرض جغرافیایی ۵۵ درجه شمالی تا ۹۰ درجه جنوبی)، در قاره آسیا تولید می‌شود (آجیتس^۷ و

1 -FAO

2 -Darvishzadeh

3 -Torbick

4 -Kazemi Posht Mousavi

5 -Roy

6 - Torre

7 - Ajith

همکاران، ۲۰۱۷). در ایران بیشتر زمین‌های زیر کشت برنج در استان‌های شمالی، شامل استان مازندران با ۵/۳۸، استان گیلان با ۹/۳۱ درصد و استان گلستان با ۹/۹ درصد قرار دارد. خوزستان با ۲/۹ درصد و فارس با ۹/۳ درصد در رده‌های بعدی قرار دارند (ایزدووست و همکاران^۱، ۲۰۱۳). در ایران، سطح زیرکشت محصولات معمولاً با سه روش کارشناسی، فهرست‌برداری و استفاده از فناوری‌های جدید تعیین می‌شود. تخمین سطح زیرکشت در روش کارشناسی دقت بسیار اندکی دارد و نمی‌توان از نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور استفاده کرد. در روش برآورد از طریق فهرست‌برداری، هرچند سطح زیرکشت محصول تخمین زده می‌شود، اما پراکندگی آن را نشان نمی‌دهد. از طرفی دیگر، در این روش هزینه نیروی انسانی بسیار بالا خواهد بود. سومین روش، استفاده از فناوری‌های نوینی چون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی است (ضیاییان فیروزآبادی و همکاران^۲، ۲۰۰۹). این فناوری، نیل به هدف‌های مدیریت پایدار یعنی هزینه و زمان کمتر در تهیه اطلاعات را نیز برآورده می‌سازد (خاتمی و همکاران^۳، ۲۰۱۶؛ وایس و همکاران^۴، ۲۰۲۰). در دهه‌های گذشته، استفاده از سنجش از دور در بخش کشاورزی افزایش یافته و اکنون سنجش از دور به ابزاری موثر و پرکاربرد برای تهیه نقشه پهنه‌بندی محصولات در سطح دشت یا زیرحوزه تبدیل شده است (آتزبرگر^۵، ۲۰۱۳؛ چاوهان و همکاران^۶، ۲۰۱۹). تعیین عملکرد محصولات، تمایز میان محصولات، تخمین سطح زیر کشت و مدل‌سازی میزان رشد محصول از جمله کاربردهای سنجش از دور در بخش کشاورزی هستند (موندال^۷ و همکاران، ۲۰۱۴؛ سینگا^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). الگوریتم‌های سنجش از دور

1 - Izaddoost

2 -Ziaieian Firouzabadi

3 -Khatami

4 -Weiss

5 - Atzberger

6 -Chauhan

7 - Mondal

8 - Singha

براساس شاخص‌های تعریف شده گیاهی، دما و رطوبت، دیدگاه مکانی-زمانی را در سطح حوزه آبریز یا منطقه ارائه می‌دهند که می‌تواند برای تهیه نقشه گیاهی، میزان عملکرد محصول و برنامه‌ریزی آب از نظر مصرف در پایین‌دست بسیار موثر باشد. در این راستا، استفاده از شاخص‌ها در نحوه بهره‌گیری از باندهای مورد نیاز برای تشخیص مزارع برنج با اهمیت است.

در استان خوزستان، "برنج" یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانه است که کشت گسترده آن (از ۸۰ هزار هکتار در سال‌هایی با محدودیت آبی تا ۲۰۰ هزار هکتار در سال‌های پرآبی)، به‌خصوص در مناطق مرکزی و جنوبی این استان تاثیر بسیاری در ایجاد تنش آبی بر حوزه‌های آبریز جلگه خوزستان دارد. در بازه زمانی ۴۰ ساله، سطح زیرکشت برنج در استان خوزستان ۵۵ تا ۶۰ هزار هکتار بوده است، طی چند سال اخیر به دلیل ارزش افزوده و درآمد بهتر سطح زیرکشت این محصول افزایش داشته است (مختاران و همکاران، ۱۴۰۲). از طرف دیگر، بخشی از زمین‌های استان خوزستان در مرکز، غرب و جنوب غرب آن دارای منابع آب لب‌شور تا شور و بافت خاک سنگین با آب زیرزمینی شور و کم عمق است که با اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی و احیای اراضی، مناسب برای عملیات کشاورزی شده‌اند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). وسعت این منطقه تقریباً ۶۵ درصد مساحت کل استان است، تجهیز و نوسازی زمین‌های کشاورزی در این مناطق و ارائه ندان الگوی کشت اقتصادی و منطبق با وضعیت منابع آب استان باعث شده‌است کشاورزان به سمت کشت گیاهانی سوق داده شوند که از لحاظ آب پرمصرف‌اند مانند برنج. با توجه به مطالب فوق، تعیین سطح زیر کشت برنج استان خوزستان و به‌طور خاص تفکیک مساحت برای روش‌های کشت سنتی برنج با غرقاب دائم، نسبت به روش جدید کشت بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) با مدیریت متناوب آبیاری، می‌تواند علاوه بر تشخیص میزان تولید برنج استان برای تعیین میزان آب مصرفی کشاورزی در سطح حوزه‌های آبریز برای این محصول بسیار پراهمیت باشد. این گام، راهنمایی برای

تصمیم‌گیران و مدیران مصرف آب خواهد بود تا با استفاده درست و برداشتن گام‌های پایدار برای تعیین الگوی کشت بهینه، تطبیق عرضه و تقاضا، حفظ زیست بوم و تعادل بخشی به آب‌های زیرزمینی و سطحی در هر منطقه با هدف تامین امنیت غذایی حرکت کنند. دستنامه فنی حاضر با هدف طراحی و معرفی روشی جدید مبتنی بر شاخص‌های گیاهی، دما و خاک و همچنین داده‌های سنجش از دور به منظور برآورد سطح زیرکشت محصول برنج برای روش‌های کشت متفاوت و مدیریت‌های مختلف آبیاری در سطح حوزه‌های آبریز درجه ۱ استان خوزستان تهیه شده است.

فصل دوم

شناخت سامانه‌های کاشت برنج و مدیریت آبیاری آن

برنج از جمله محصولات زراعی است که با روش‌های متنوع در مناطق مختلف دنیا کشت می‌شود (سک و همکاران^۱، ۲۰۱۲). کشت برنج را می‌توان به دو روش کشت مستقیم^۲ (DSR) و نشاکاری^۳ (TPR) تقسیم کرد. در روش نشاکاری، ابتدا برنج خزانه‌گیری می‌شود و پس از آن نشاها به زمینی منتقل می‌شوند که به روش گل‌خرابی آماده شده است. در این روش، آماده‌سازی زمین شامل آبیاری اولیه خاک و به‌دنبال آن اجرای شخم و گل‌خرابی با روتیواتور در خاک اشباع است و مزرعه از ابتدا تا انتهای دوره رشد گیاه غرقاب است (فاروق و همکاران^۴، ۲۰۰۹). در سامانه کشت مستقیم، بذرخشک یا جوانه‌دار برنج در بستر خشک یا مرطوب گل‌خرابی شده، کاشته می‌شود (ماهاجان و همکاران^۵، ۲۰۱۲). هم‌اکنون حدود ۷۷ درصد از برنج دنیا به روش نشاکاری سنتی (TPR) کشت می‌شود. مشکلات فراوانی مانند کمبود نیروی کار، کمبود آب و پایین بودن راندمان آبیاری تداوم

1 -Seck

2-Direct Seeded Rice (DSR)

3 -Puddled Transplanted Rice (TPR)/Conventional puddled transplanted rice

4 -Farooq

5 -Mahajan

روش نشاکاری سنتی برنج را به چالش کشانده است (اسمیت و همکاران^۱، ۲۰۰۷). برای غلبه بر دشواری‌های پیش‌رو در کشت برنج، متخصصان در دنیا با توجه به شرایط آب و کشاورزی هر منطقه، راهبردهای مختلفی را با هدف کاهش مصرف آب یا افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در پیش می‌گیرند. از جمله این راهبردها تکنیک آبیاری متناوب به‌صورت خشک و مرطوب کردن (لی^۲، ۲۰۰۱، تابال و همکاران^۳، ۲۰۰۲)، سامانه تشدیدکننده برنج (استاب و همکاران^۴، ۲۰۰۲) و کشت مستقیم برنج هوازی (بومان و همکاران^۵، ۲۰۰۲) است که همگی به‌منظور جایگزینی با سامانه مرسوم (گل‌خرابی) پیشنهاد شده است (کومار و لادها^۶، ۲۰۱۱). شیوه کشت هوازی یا خشکه‌کاری برنج، یکی از شیوه‌های نوین کاشت، عبارت است از کشت مستقیم بذر برنج در بستر خشک بدون عملیات گل‌خرابی است (لیو و همکاران^۷، ۲۰۱۵). این شیوه کشت در مقایسه با روش کشت مرسوم گل‌خرابی و بسته به نوع خاک ۳۰ تا ۵۱ درصد آب کمتری برای تهیه زمین نیاز دارد، بهره‌وری آب را ۳۲ تا ۸۸ درصد بیشتر می‌کند، ۵۰ درصد نیروی انسانی کمتری نیاز دارد (وانگ و همکاران^۸، ۲۰۰۲) و تا ۵۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد (والر و همکاران^۹، ۲۰۱۶، بومان و همکاران، ۲۰۰۵). دلیل این موضوع مهم تفاوت اساسی در فرآیند بسترسازی از جمله حذف گل‌خرابی، مدیریت کاشت، آبیاری پس از آن به‌خصوص از زمان کاشت تا پایان مرحله گیاهچه‌ای (۳۰-۲۵ روز)، تناوب آبیاری و دوره رشد کوتاه‌تر است (گوپال و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۰؛ گیلانی، ۱۳۹۸؛ یعقوبی و رجبیان، ۱۳۹۸

-
- 1 - Smith
 - 2 - Li
 - 3 - Tabbal
 - 4 - Stoop
 - 5 - Bouman
 - 6 - Kumar & Ladha
 - 7 - Liu
 - 8 - Wang
 - 9 - Weller
 - 10 - Gopal

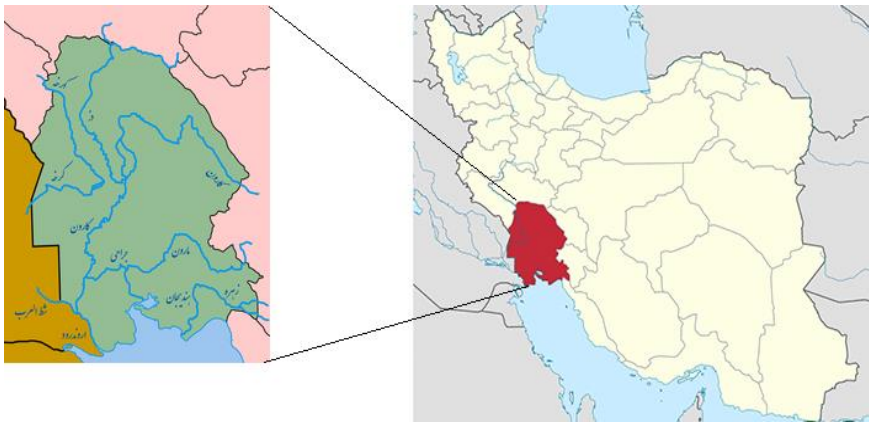
و کیانی و همکاران، ۱۳۹۹). روش کشت مستقیم هوازی (خشکه‌کاری) هرچند آب آبیاری را کاهش می‌دهد اما، نسبت به روش نشاکاری سنتی، میزان عملکرد کاهش می‌یابد. کابانگون و همکاران^۱ (۲۰۰۲). با این همه، میزان بهره‌وری فیزیکی روندی افزایشی دارد. در ایران سامانه کشت مرسوم برنج، به‌صورت نشاکاری یا کشت بذر جوانه‌دار در بستر مرطوب مبتنی بر استفاده از ارقام برنج آبی با آبیاری غرقابی است. در این سامانه کشت، برنج بیش از ۸۰ درصد طول دوره رشد خود به‌صورت غرقاب دائم است (مختاران و همکاران، ۱۴۰۲). در سال‌های اخیر، شیوه کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) در کشور، به‌خصوص در استان‌های گلستان و خوزستان مرسوم شده است. لازم است یادآوری شود که این شیوه کشت در صورتی می‌تواند در کاهش حجم آب آبیاری و آب مصرفی برنج موثر باشد که مدیریت آبیاری متناوب (دور آبیاری ۲ تا ۵ روزه) براساس ظرفیت زراعی خاک، دمای هوا و مراحل رشد گیاه در آن رعایت شود. بنابراین می‌توان گفت که تفاوت زیست توده (بیوماس) گیاه، تاریخ کاشت، میزان رطوبت خاک، دمای سطح زمین و... در دو روش کشت سنتی با غرقاب دائم و خشکه‌کاری با تناوب آبیاری می‌تواند از شاخص‌های مهم تشخیص در این دو سامانه کشت باشد.

فصل سوم

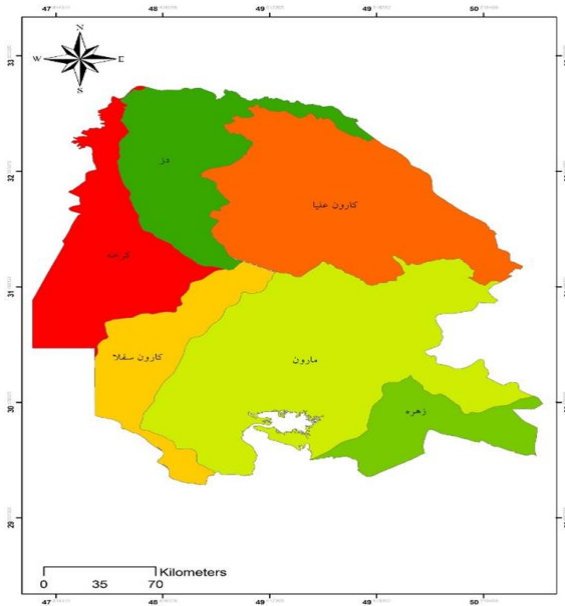
شناخت استان خوزستان از منظر منابع آب و کشت برنج

استان خوزستان با مساحت ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و در جنوب غربی ایران قرار دارد. استان خوزستان از تنوع اقلیمی متنوعی برخوردار است که شامل اقلیم‌های فراخشک گرم (۴/۶۴ درصد)، نیمه خشک سرد تا نیمه خشک گرم (۴/۱۸ درصد)، خشک سرد و معتدل (۲/۱ درصد) و... است. متوسط بارندگی سالانه در استان خوزستان طبق آمار بلند مدت، ۳۵۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ۲۱۹۰ میلی‌متر در سال است. میانگین دما در دوره گرم استان ۳۱ و حداکثر مطلق آن ۵۴ درجه سانتی‌گراد است. متوسط دما در دوره سرد استان ۱۵ و حداقل دمای مطلق آن ۷- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است، متوسط دمای سالانه برابر با ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. در ده سال اخیر متوسط بارندگی سالیانه به ۵/۲۹۴ میلی‌متر کاهش، دمای متوسط سالانه استان به ۶/۲۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و در نهایت میزان متوسط تبخیر و تعرق سالانه به ۲۳۵۱ میلی‌متر افزایش یافته است.

پنج حوضه آبریز (کارون، کرخه، دز، زهره و مارون - جراحی) و ۳۰ دشت در استان خوزستان قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). انطباق محدوده اراضی آبی و دیم با دشت‌های خوزستان نشان می‌دهد که بیشتر اراضی آبی در نیمه غربی، جنوب و جنوب شرق استان واقع شده است. وجود رودخانه‌های پرآب و زمین‌های حاصلخیز باعث شده تا دشت خوزستان به لحاظ کشاورزی در کشور اهمیت بسزایی داشته و یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی ایران باشد. درعین‌حال، با توجه به وسعت اراضی کشاورزی در استان خوزستان و کشت در سراسر سال و دارا بودن اقلیم فرا خشک گرم، باعث شده تا این استان یکی از مهم‌ترین نقاط مصرف آب کشاورزی در کشور مورد توجه قرار گیرد.

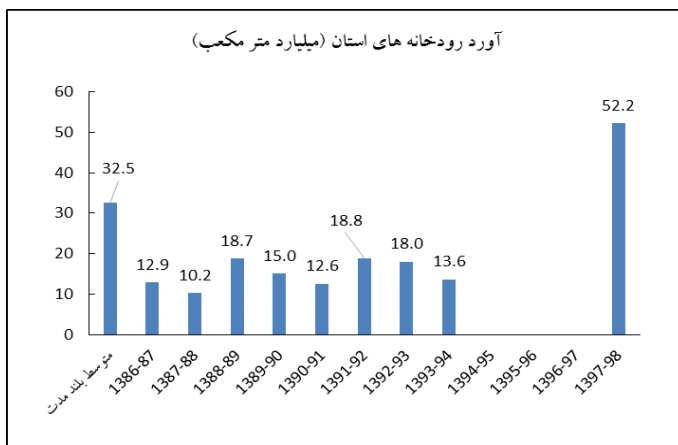


شکل ۱- محدوده و رودخانه‌های استان خوزستان و موقعیت آن در کشور



شکل ۲- نقشه حوضه آبریز رودخانه‌های اصلی استان

آورد رودخانه‌های مهم استان خوزستان در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۶ در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که آورد رودخانه‌ها در سال‌های مختلف بسیار متفاوت است و این خود اهمیت ذخیره آب را در سطح استان نشان می‌دهد. بر طبق شکل (۳)، افزایش حجم ورودی در سال آبی ۹۸-۹۷ به دلیل وقوع سیل عظیم با دوره بازگشت بیش از ۵۰۰ سال استثناست. میزان کل حجم ورودی در این سال آبی به استان بالغ بر ۵۲۲۰۰ میلیون مترمکعب است که آورد رودخانه‌های استان بیش از ۶۰ درصد نسبت به متوسط درازمدت، افزایش داشته است. دلیل ارائه نشدن آمار در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ دقیق نبودن آمار ناشی از خشکسالی‌های متعدد در استان بوده است.



شکل ۳- آورد رودخانه‌های استان طی دوره ۱۲ ساله (برگرفته از گزارش "برنامه سازگاری با کم آبی خوزستان")

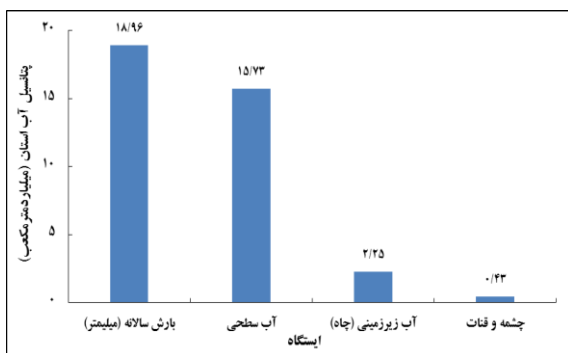
میزان آبدهی به جلگه خوزستان در حوضه‌های آبریز براساس میانگین درازمدت ۵۰ ساله و با در نظر گرفتن احتمالات ۸۰ و ۶۰ درصدی رخدادها در جدول (۱) آورده شده است. این اعداد با توجه به دوره آماری مناسب می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی منابع آب کشاورزی و الگوی کشت منطبق برای مناطق زیر حوضه باشد.

جدول ۱- خلاصه آبدهی استان (میلیون مترمکعب) بر اساس داده‌های مشاهداتی و دوره همسان شده از سال ۱۳۴۰

مجموع کل استان	زهره - هندیجان	مارون - جراحی	کرخه	کارون بزرگ*	آبدهی
۲۹۳۰۷	۲۹۵۵	۲۱۰۵	۵۳۶۲	۱۸۸۸۵	میانگین دراز مدت
۱۶۶۷۷	۱۳۶۵	۱۲۱۹	۲۶۹۲	۱۱۴۰۱	احتمال ۸۰ درصد
۲۴۱۶۱	۲۲۱۹	۱۷۰۶	۴۲۲۷	۱۶۰۰۹	احتمال ۶۰ درصد

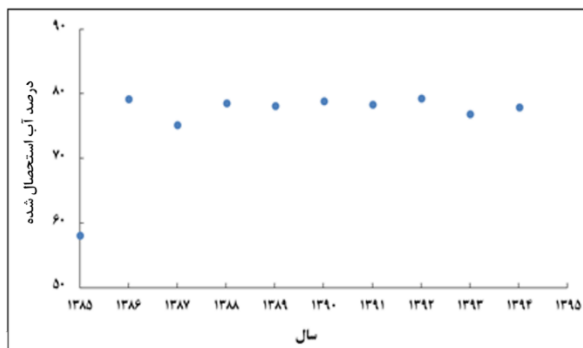
*: کارون بزرگ از تقاطع رودخانه‌های شطیبا، گرگر و دز در محلی بنام بندقیچر نزدیک ملاتانی بوجود می‌آید که تمامی اراضی جنوب و جنوب غرب را مشروب می‌سازد.

در استان خوزستان ۹۱ درصد از آب مورد نیاز کشاورزی از آب‌های سطحی تامین و باقیمانده آن از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌شود. با توجه به وجود رودخانه‌های مهم، در این استان بیش از ۱۸ سد کوچک، مخزنی و انحرافی وجود دارد که در حال بهره‌برداری هستند. شکل (۴) میانگین ۱۰ ساله (بازه زمانی ۹۴-۱۳۸۴) مجموع پتانسیل آب استان را نشان می‌دهد.



شکل ۴- میانگین ۱۰ ساله پتانسیل آب استان در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۸۴ (برگرفته از گزارش "برنامه سازگاری با کم‌آبی خوزستان")

براین اساس، میانگین ۱۰ ساله (بازه زمانی ۹۴-۱۳۸۴) مجموع برداشت آب در استان خوزستان در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- میانگین ۱۰ ساله (بازه زمانی ۹۴-۱۳۸۴) مجموع برداشت آب در استان خوزستان (برگرفته از گزارش "برنامه سازگاری با کم‌آبی خوزستان")

با مقایسه شکل‌های (۴) و (۵) با همدیگر مشخص می‌شود که در بازه زمانی مورد نظر، ۷۳ درصد منابع آب سطحی و ۵۴ درصد منابع آب زیرزمینی برداشت شده است و همچنین مشاهده می‌شود که پس از سال ۱۳۸۵ مقدار برداشت آب از حدود ۶۰ درصد به مقدار تقریبی ۸۰ درصد افزایش داشته است. مقدار برداشت از این منابع بیشتر از استانداردهای محیط‌زیستی بین‌المللی است. این افزایش به دلیل وقوع خشکسالی‌های اخیر و احداث سدهای بیشتر روی رودخانه‌های استان بوده است که به توسعه کشاورزی و کشت گیاهان پرمصرف انجامیده است.

یکی از چالش‌های مهم استان خوزستان از نظر مصرف آب، محصول برنج است. "برنج" یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانه این استان است که نقش مهمی در معیشت کشاورزان دارد. کشت رایج برنج در استان به دو روش صورت می‌گیرد: کشت مستقیم بذر در بستر مرطوب (مناطق شمال، مرکزی، غرب و جنوبی خوزستان) و نشاکاری (مناطق شرق و شمال شرق استان) که مدیریت آبیاری آن به صورت غرقاب دائم از زمان کاشت تا برداشت محصول است (به جز زمان‌های خاص مانند مبارزه با علف‌های هرز که قطع جریان آب اتفاق می‌افتد). گستردگی سطح زیر کشت برنج در استان خوزستان در مرکز، غرب و جنوب غرب آن گ است. اراضی این قسمت از استان منابع آب لب‌شور تا شور و بافت خاک سنگین با آب زیرزمینی شور و کم عمق دارد که با اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی و احیای اراضی، برای عملیات کشاورزی مناسب شده‌اند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). براین اساس، تلفات زیاد آب با روش آبیاری سنتی با غرقاب دائم (ورود و خروج آب از کرت‌ها) برای کشت برنج در بسیاری از این مناطق یکی از عوامل تولیدکننده حجم بسیار بالای زهاب کشاورزی در اراضی زهکش‌دار است که می‌تواند علاوه بر فشار بر منابع آب، اثرهای مخرب محیط‌زیستی نیز به دنبال داشته باشد. آب کاربردی برنج در این مناطق معمولاً شامل آماده‌سازی زمین، جبران خسارت ناشی از تبخیر، میزان تعرق شلتوک و تلفات ناشی از نشت و نفوذ عمقی است. تنها میزان تعرق، به علت اینکه توسط گیاه مصرف

می‌شود، مفید است و بیشتر آب کاربردی در دوره رشد محصول مستقیماً برای تعرق استفاده نمی‌شود و براین اساس از دست رفته تلقی خواهد شد. در این راستا، روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) نسبت به دو شیوه رایج در استان خوزستان (کشت نشا و کشت مستقیم بذر در محیط مرطوب) با هدف کاهش حجم آب آبیاری و کاهش برداشت آب از منابع آب با اجرای مدیریت متناوب آبیاری، تحقیق و ترویج شد. برای نمونه، گیلانی و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی سامانه‌های کاشت برنج در استان خوزستان سه روش کشت بیان می‌کنند: ۱- نشایی سنتی، ۲- مستقیم رایج منطقه (در محیط مرطوب) با بذر جوانه‌دار، و ۳- خشکه‌کاری (کشت مستقیم بذر در بستر خشک) با ارقام برنج عنبوری قرمز، چمپا و دانیال. هر چند بیشترین عملکرد دانه در روش نشاکاری سنتی با میانگین ۶۳۹۴ کیلوگرم در هکتار دیده می‌شود، اما در بین روش‌های کشت مستقیم، خشکه‌کاری با ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بیشتری داشته است. روش نشاکاری سنتی و خشکه‌کاری به ترتیب با مقادیر ۳۸۹۸۱ و ۲۰۶۹۱ مترمکعب در هکتار بیشترین و کمترین آب مصرفی را داشته‌اند و بیشترین بهره‌وری آب با ۰/۲۵۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب در روش خشکه‌کاری نشان داده شده است. مختاران و همکاران (۱۴۰۲)، طرحی را در راستای ارزیابی تغییرات شوری خاک و واکنش ارقام رایج برنج استان خوزستان در روش خشکه‌کاری با سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) طراحی و اجرا کردند و نشان دادند که میانگین حجم آب آبیاری در مزرعه با توجه به تکمیل دوره رشد ارقام مختلف ۱۴۸۰۰، ۱۵۲۰۰، ۱۵۷۰۰ و ۱۶۱۰۰ مترمکعب بر هکتار به ترتیب برای لاین متحمل به شوری S2، عنبوری قرمز، دانیال و چمپا اندازه‌گیری شد.

تحقیقات گفته شده و ترویج روش خشکه‌کاری با مدیریت ذست آب در مزرعه باعث شده است تا این سامانه کشت در استان خوزستان گسترده شود، به طوری که علاوه بر حوضه کرخه در سال‌های اخیر در حوضه‌های کارون و مارون نیز توسط کشاورزان اجرا شد. اما همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، این روش کشت به‌تنهایی نمی‌تواند عامل کاهش

آب آبیاری گردد بلکه مدیریت متناوب آبیاری براساس نمایه‌های خاک و گیاه است که عامل کاهش در مصرف آب خواهد شد. از این رو تشخیص سطح زیرکشت برنج با تفکیک روش‌های کشت مبتنی بر مدیریت آبیاری می‌تواند علاوه بر تعیین دقیق میزان کشت برنج و تولید این محصول، کمک کند به اینکه چه میزان خشکه‌کاری برنج با تناوب آبیاری در سطح استان اجرا شده و در کاهش برداشت آب از منابع موثر است.

فصل چهارم

فناوری سنجش از دور در تشخیص مزارع برنج و آشنایی با الگوریتم‌ها و ماهواره‌های کاربردی

فناوری سنجش از دور می‌تواند اطلاعات به‌موقع و دقیقی در مورد توزیع محصول، سطح کاشت و تولید بالقوه برای تصمیم‌گیرندگان در سطوح مختلف فراهم کند. مزارع برنج قبل از زمان کاشت، غرقابی می‌شوند و مقادیر شاخص پوشش گیاهی در این زمان در کمترین مقدار خود قرار دارند. با رشد و افزایش ارتفاع محصول، مقادیر شاخص پوشش گیاهی افزایش می‌یابند. در این شرایط، با توجه به فنولوژی و بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی به کمک نقشه‌های سری زمانی، مقادیر استخراج شده از تصاویر اپتیکی تخمین زده می‌شوند (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۵). منسارای^۲ و همکاران (۲۰۱۷) برای شناسایی مزارع برنج از ویژگی‌های باز پراکنش کانال‌های دریافت افقی^۳ (VH) و عمودی^۴ (VV) تصاویر سنتینل ۱ و شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته^۵ (EVI) و شاخص تفاضلی

-
- 1 - Wang
 - 2 - Mansaray
 - 3 - vertical/horizontal
 - 4 - vertical/vertical
 - 5 - Enhanced Vegetation Index

آب نرمال شده بهبود یافته^۱ (MNDWI) با استفاده از تصاویر لندست^۲ ۸ به‌عنوان ورودی الگوریتم‌های جنگل‌های تصادفی^۳ (RF) و ماشین‌بردار پشتیبان^۴ (SVM) استفاده کردند. اینوی و همکاران^۵ (۲۰۲۰) برای شناسایی مزارع برنج با استفاده از تصاویر راداری سنتینل^۶ و اپتیکی سنتینل^۲، روش طبقه‌بندی جنگل‌های تصادفی را پیشنهاد دادند. در ابتدا نقشه اولیه مزارع برنج به کمک طبقه‌بندی تصاویر سنتینل^۱ با الگوریتم جنگل‌های تصادفی تهیه گردید. پس از آن تولید نقشه نهایی مزارع برنج با حذف مزارع غیربرنج از نقشه اولیه و با استفاده از شاخص‌های تفاضلی پوشش گیاهی^۷ (NDVI)، رطوبت خاک نرمال شده^۸ (LSWI) و پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI) از تصاویر سنتینل^۲ به‌دست آمد. در مطالعه‌های دیگر، لی‌یو و همکاران^۹ (۲۰۲۰) برای شناسایی مزارع برنج ضمن استفاده از فنولوژی محصول (زمان و طول مدت رشد گیاه)، از حد آستانه شاخص رطوبت خاک (LSWI)، شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)، شاخص زردی^{۱۰} (YI) و شیب منطقه استفاده کردند. در همین زمینه، ژان و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۱) برای شناسایی مزارع برنج، استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری^{۱۲} (DT) را به کمک ویژگی‌های فنولوژیکی استخراج شده از تصاویر سنتینل^۱ پیشنهاد دادند. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۳، با بررسی قابلیت‌های نقشه‌های سری زمانی شاخص دمای سطح زمین^{۱۳} (LST) در کنار نقشه‌های

1 - Modified Normalized Difference Water Index

2 - Landsat8

3 - Random Forest

4 - Support Vector Machine

5 - Inoue

6 - Sentinel1

7 - Normalized Difference Vegetation Index

8 - Land Surface Water Index

9 - Liu

10 - Yellowness Index

11 - Zhan

12 - Decision Tree Algorithm

13 - Land Surface Temperature

سری زمانی شاخص تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI)، با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) در ایالت کالیفرنیا مزارع برنج شناسایی شدند. در این مطالعه، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بالاترین دقت کلی، ۲۸/۹۴ درصد، و کاپای ۲۹/۸۸ درصد را در شناسایی مزارع برنج از سایر مزارع کشاورزی در مقایسه با سایر روش‌های مقایسه‌ای نشان داد. نتایج حاصل از روش‌های مقایسه‌ای، کارآیی پایین الگوریتم درخت تصمیم‌گیری را در شناسایی لبه‌های مزارع برنج نشان داد (فتحی و شاه‌حسینی، ۱۴۰۲). در پژوهشی، برای تعیین سطح زیرکشت دو محصول برنج و سویا در چهار حوضه آبخیز استان گلستان از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و کم‌ترین فاصله از میانگین، به‌ترتیب برای تخمین سطح زیرکشت برنج و سویا روش مناسبی هستند (دشتی مارویلی و همکاران^۱، ۲۰۱۹). یاقوتی و همکاران^۲ (۲۰۱۸) رابطه رگرسیونی بین چندین شاخص پوشش گیاهی^۳ (SAVI, ^۴DVI, RVI) و NDVI، استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۹ و عملکرد برنج در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ ارزیابی کردند. مقایسه مدل‌های تولیدی نشان از برتری شاخص NDVI داشت. محققان در پژوهشی نشان دادند که از بین شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص^۶ RGVI بیشترین همبستگی را با عملکرد برنج دارد و با آن می‌توان عملکرد شالیزارهای برنج را ۳۰ تا ۶۰ روز پیش از برداشت پیش‌بینی کرد (پل و همکاران^۷، ۲۰۲۰). در ژاپن از داده‌های چند زمانه سنجنده^۸ OLI ماهواره لندست ۸ برای تعیین بهترین شاخص استخراج آب به‌منظور نظارت بر مناطق کشت برنج استفاده شد. پس از مقایسه شش شاخص، شاخص

- 1 -Dashti Marvili
- 2 -Yaghouti
- 3 - Ratio Vegetation Index
- 4 -Soil Adjusted Vegetation Index
- 5 -Difference Vegetation Index
- 6- Rice Growth Vegetation Index
- 7 - Paul
- 8 - Operational Land Imager

NDWI-GS1¹ که از باندهای سبز و فروسرخ با طول موج کوتاه استفاده می‌کند، بهترین عملکرد و کمترین میزان خطا را در برآورد مناطق کشت برنج داشت (ساکاموتو و همکاران²، ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای دیگر در چین، از طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF) و³ DCC (شاخص‌های طیفی مشتق‌شده از MODIS، متغیرهای آب و هوایی و توپوگرافی) برای تولید نقشه‌های آبیاری هر استان در پلتفرم گوگل ارث انجین⁴ (GEE) استفاده شد. نقشه حاصل از دیگر نقشه‌های آبیاری فعلی با دقت کلی ۲/۷۹ درصد بهتر عمل کرد (ژانگ و همکاران⁵، ۲۰۲۲). مصری و همکاران⁶ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با هدف تخمین سطح زیرکشت شالیزارهای برنج در بخش گیاشهر استان گیلان، از تصاویر سنجنده⁷ TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده کردند. در این تحقیق، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه با هفت کاربری شامل اراضی برنج، جنگل نیمه‌انبوه، جنگل تنک، مناطق مسکونی، مناطق آبی، پهنه‌های ماسه‌ای و دیگر اراضی تهیه شد. در ادامه، مساحت هر یک از کاربری‌ها محاسبه و روند تغییرات مقایسه شد. دقت کلی و ضریب کاپای⁸ طبقه‌بندی⁹ به‌ترتیب معادل ۴۵/۹۸ درصد و ۹۸/۰ برای سال ۲۰۰۰، ۵۹/۹۷ درصد و ۹۷/۰ برای سال ۲۰۱۰ و ۷۲/۹۸ درصد و ۹۸/۰ برای سال ۲۰۲۰ به‌دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که برنجزارها در بازه ۲۰ ساله با کاهش ۹۴/۶ درصدی همراه بوده است. در این مدت، مناطق مسکونی و جنگل‌های تنک به‌میزان

1 - Normalized Difference Water Index (Spectral bands: Green and SWIR1)

2 - Sakamoto

3 - Data Cubes Classification

4 - Google Earth Engine

5 - Zhang

6 - Mesri

7 - Thematic Mapper

8-Kappa Coefficient

9 - Classification

۹۴/۶۷ و ۷۳/۱۸ درصد رشد کرده‌اند، اما جنگل‌های نیمه‌انبوه، مناطق آبی و پهنه‌های ماسه‌ای به ترتیب ۳۲/۶۱، ۹۱/۴ و ۴۸/۶۱ درصد کاهش داشتند.

مطالعات فوق نشان می‌دهد که در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، نوع محصول و انتخاب شاخص‌های مناسب برای محدوده زمانی معین بسیار مهم است. در بسیاری از مطالعات، از حد آستانه در به‌کارگیری شاخص‌های مهم استفاده می‌شود که در حال حاضر این روش رد شده است، زیرا با توجه به اینکه مقادیر آستانه با مکان و زمان دریافت تصویر متفاوت بوده است از این روش شناسایی آستانه مناسب که بالاترین دقت ممکن را به همراه دارد، کاری چالش‌برانگیز و زمان‌بر است. بهترین روش در طبقه‌بندی (کلاس‌بندی) استفاده از تکنیک یادگیری ماشین است. تکنیک یادگیری ماشین زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی است. در استفاده از تکنیک یادگیری ماشین، الگوریتم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی وجود دارد که از جمله می‌توان به شبکه عصبی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، و ماشین بردار پشتیبان اشاره کرد. در مورد طبقه‌بندی در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی، الگوریتم جنگل تصادفی عملکرد خوبی از خود نشان داده است که می‌تواند مقادیر از دست‌رفته و داده‌های با اختلال‌های زیاد را مدیریت کند. در این مطالعه، به منظور اجرای طبقه‌بندی برای دستیابی به سطح زیرکشت محصول برنج و تهیه نقشه گیاهی محصول^۱ از الگوریتم جنگل تصادفی با تکنیک یادگیری ماشین استفاده شده است. در اینجا به طور اختصار الگوریتم‌ها، پلتفرم‌ها و ماهواره‌های مورد استفاده در این مطالعه آورده شده است.

۱-۴- الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

الگوریتم جنگل تصادفی به تکنیک یادگیری نظارت شده تعلق دارد. این الگوریتم ترکیبی از پیش‌بینی‌کننده‌های درختی هستند به طوری که هر درخت به مقادیر یک بردار تصادفی بستگی دارد که به طور مستقل و با توزیع یکسان برای همه درختان جنگل، نمونه‌برداری شده است. مهم‌ترین مزیت استفاده از طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی، بهبود

دقت کار است (مجیدی و همکاران^۱، ۲۰۲۱). علاوه بر این، با ادغام الگوریتم جنگل تصادفی و پلتفرم‌های مدیریت شده داده‌های بزرگ مانند گوگل ارث انجین، پردازش مجموعه داده‌ها با متغیرهای متعدد در مدت زمانی کوتاه تسهیل می‌شود. این موضوع متغیرها را به سرعت مدیریت می‌کند و برای کارهای پیچیده مناسب است (اشمیت و همکاران^۲، ۲۰۱۹).

۲-۴- ماهواره لندست ۹

از دیدگاه کاربران، لندست را دانشگاهیان تا جنگل‌بانان و برنامه‌ریزان شهری و مدیران کشاورزی در کاربردهای بسیار متنوعی استفاده می‌کنند. به‌کارگیری و دانلود داده‌های ماهواره لندست در حال حاضر ماهانه بیش از ۱ میلیون تصویر را در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد که از نظر کاربرد بسیار بااهمیت است (وولدر و همکاران^۳، ۲۰۱۹). از نظر فنی، Landsat9 OLI-2 بسیار شبیه به نسل قبلی خود یعنی Landsat8 OLI است به استثنای سنسور حرارتی فرورسرخ^۴ که بسیار بهبود یافته‌تر از لندست ۸ است. کیفیت داده‌های ابزار لندست ۹- به دلیل افزایش به ۱۴ بیت بسیار بهتر از لندست ۸ است (کاملیش و همکاران^۵، ۲۰۲۱).

۳-۴- ماهواره سنتینل ۱

این ماهواره که در ۳ آوریل ۲۰۱۴ مأموریت خود را آغاز کرده است دارای مدار قطبی است که به صورت راداری تصویربرداری می‌کند و قادر است پدیده‌ها و عوارض سطح زمین را در شب و روز و در بدترین شرایط آب و هوایی تشخیص دهد و اطلاعات را جمع‌آوری کند. این ماهواره در محدوده طول موج ماکروویو و باند تصویبررداری می‌کند و در چهار حالت مختلف (HV، HH، VH و VV) تصویبررداری با وضوح قابل قبول را تا حد ۱۰

1 -Magidi
2 -Schmidt
3 -Wulder
4 -TIRS-2
5 - Kamlesh

متری و پوششی در عرض ۴۰۰ کیلومتر فراهم می‌آورد. ماهواره سنتینل ۱ قادر است هر ۱۲ روز یکبار از کل کره زمین تصویربرداری کند. این سنجنده در این چهار حالت از سطح زمین تصویربرداری می‌کند: حالت SM^۱، حالت IW^۲، حالت EW^۳ و حالت WM^۴. پهنای نوار تصویربرداری در این حالت ۲۵۰ کیلومتر است. توان تفکیک مکانی در این نوع از تصویربرداری ۵ متر در امتداد آزیموت و ۲۰ متر در امتداد رنج است (قره‌چلو و همکاران، ۱۴۰۰).

۴-۴- ماهواره سنتینل ۲

این ماهواره سنجنده‌ای خورشید آهنگ است و دورهٔ چرخش مداری آن ۱۰ روزه است. از تصاویر این سنجنده برای نظارت بر تغییر سطح زمین، پوشش برف، یخچال‌ها، نقشه‌برداری یخبندان، نقشه‌برداری و مدیریت سیل (تجزیه و تحلیل، ارزیابی تلفات، مدیریت بحران سیل)، نظارت دقیق گیاه و جنگل و تولید فراسنج (مانند شاخص سطح برگ، غلظت سبزینه، تخمین تودهٔ کربن) و برنامه‌های کشاورزی، مانند نظارت بر محصول و مدیریت برای کمک به امنیت غذایی استفاده می‌شود. این تصویرها دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر و ۱۲ بیتی است که به درجات خاکستری (از ۰ تا ۴۰۹۶) مربوط است؛ قدرت تفکیک رادیومتریکی به معنای تعداد بیت‌هایی است که پیکسل نیاز دارد تا شدت نور را ذخیره کند (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۸). سه ماموریت اصلی سنتینل ۲ از این قرار است: ۱- ارائه تصاویر چند طیفی با پوشش جهانی و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی بالا، ۲- ارائه تصاویری که مکمل داده‌های تصویری لندست و اسپات باشد و آنها را بهبود بخشد، و ۳- جمع‌آوری اطلاعات برای نسل بعدی محصولاتمانند نقشه‌های پوششی زمین، نقشه‌های تغییرات زمین و متغیرهای ژئوفیزیکی.

-
- 1- Stripmap
 - 2- Interferometric Wide Swath
 - 3- Extra Wide Swath
 - 4- Wave Mode

۵-۴- ادغام تصویرهای سنتینل ۱ و ۲

تلفیق تصویرها کاربردهای زیادی دارد از جمله بهبود طبقه‌بندی، تشخیص عوارض، ارزیابی تغییرات و جایگذاری اطلاعات از دست رفته در هر تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر (کابلی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). از ترکیب تصاویر راداری سنتینل-۱ با داده‌های نوری سنتینل ۲ برای افزایش دقت طبقه‌بندی پوشش زمین/ کاربری اراضی (LULC)^۱ استفاده می‌شود (استاینهاوز و همکاران^۲، ۲۰۱۸). ادغام تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ارتفاعی زمین (DEM)^۳ و همچنین بهره‌گیری از شاخص‌های گیاهی و محیطی با استفاده از باندهای حرارتی موجود در ارائه هر چه بهتر طبقه‌بندی برای تعیین کاربری اراضی و افزایش تفکیک مکانی در جهت ارتقا دقت کار انجام می‌گیرد.

۶-۴- پروداکت Dynamic World

این پروداکت یک مجموعه داده از کاربری زمین/ پوشش زمین (LULC) با وضوح بالا در سطح جهانی است که از یادگیری عمیق یک سامانه پایه ابری در تصاویر ۱۰ متری سنتینل ۲ بهره می‌برد. این پروداکت که از سال ۲۰۱۵ تا به حال استفاده می‌شود، با توجه به عرض جغرافیایی، بین ۲ تا ۵ روز به‌روز می‌شود. این پروداکت، دارای پوشش ابری کمتر یا مساوی ۳۵ درصد است که برای حذف این ابرها و سایه‌های ابر موجود از ترکیب الگوریتم‌های منحصر به خودش استفاده می‌کند. این پروداکت، داده‌های بسیار به‌روز کاربری زمین/ پوشش زمین (LULC) تا ترکیب‌های جهانی سفارشی که محدوده‌های تاریخ مشخص شده توسط کاربر را نشان می‌دهند، به‌همراه ماهیت پیوسته خروجی‌های محصول، پالایش، گسترش و حتی تعریف مجدد طبقه‌بندی کاربری زمین/پوشش زمین (LULC) را ممکن می‌سازد (کریستوفر و همکاران^۴، ۲۰۲۲).

1 - Land Use Land Cover

2 - Steinhouse

3- Digital elevation model

4 -Christopher

۷-۴- پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE)

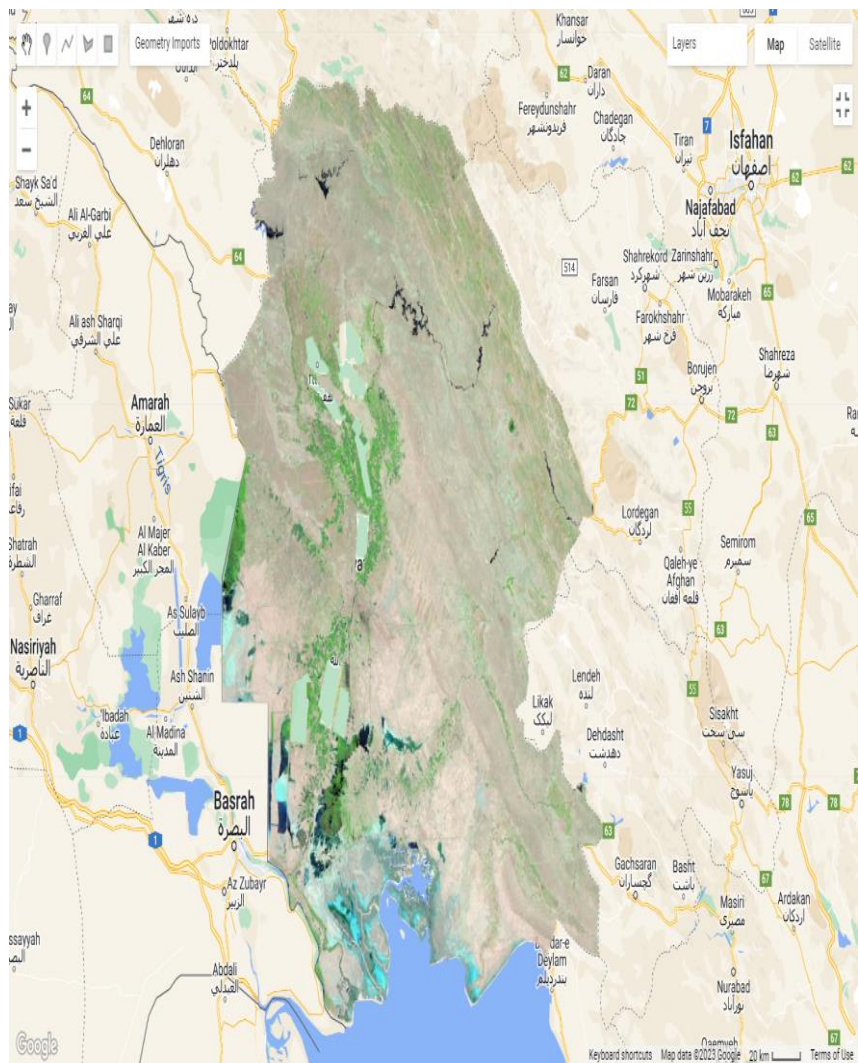
پلتفرم بر پایهٔ پردازش ابری برای تجزیه و تحلیل جغرافیایی در مقیاس سیاره‌ای است که توانایی‌های محاسباتی عظیم گوگل را روی انواع مسائل اجتماعی پرتائیر از جمله جنگل زدایی، خشکسالی، فاجعه، بیماری، امنیت غذایی، مدیریت آب، نظارت بر آب و هوا و حفاظت از محیط زیست است (گورلیک و همکاران^۱، ۲۰۱۷). کاتالوگ دیتاهای عمومی گوگل ارث انجین مجموعه‌ای چند پتابایتی از مجموعهٔ داده‌های جغرافیایی پرکاربرد است. بخش عمده‌ای از کاتالوگ تصاویر سنجش از دور رصدی زمین، شامل کل آرشیو لندست و همچنین آرشیو کامل داده‌های سنتینل ۱ و سنتینل ۲ تشکیل شده است، اما همچنین شامل پیش‌بینی‌های آب و هوا، داده‌های پوشش زمین و بسیاری دیگر می‌شود (گورلیک و همکاران، ۲۰۱۷). شکل (۶)، تفکیک اراضی زراعی استان خوزستان را از پهنه‌های آبی با هدف تفکیک مزارع برنج غرقاب شده از حوضچه‌های پرورش ماهی با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ نشان می‌دهد. این تصویر با نمایش ترکیب باندی و ایجاد تصویر RGB^۲ با فرمت موج کوتاه فروسرخ^۳ (SWIR2) و تلفیق باندهای 'B4'، 'B8A'، 'B12' ایجاد شده است. در این تصویر SWIR2 به طول موج ۲۱۰۰ تا ۲۲۸۰ نانومتر اشاره دارد.

1 - Gorelick

2 -Red,Green,Blue

3 - Short Wave Infra Red

تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج...



شکل ۶ - تصویر ماهواره سنتینل ۲ بصورت RGB با فرمت SWIR2 - استان خوزستان

فصل پنجم

اصول تشخیص مزارع برنج با روش‌های مختلف کشت در استان خوزستان

۵-۱- کلیات

در اجرای طبقه‌بندی منطقه برای تشخیص مزارع برنج و تهیه نقشه گیاهی محصول، از الگوریتم جنگل تصادفی (RF) و تکنیک یادگیری ماشین^۱ (MLT) در محیط پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE) استفاده شد. این کار در دو گام به‌انجام رسید. گام اول شامل تفکیک مزارع برنج به‌عنوان یک کلاس (طبقه) از محصولات زراعی غیر برنج (در کلاسی دیگر) و گام دوم تفکیک فقط مزارع برنج به دو کلاس یا طبقه برحسب سامانه (روش) کشت و مدیریت آبیاری (کشت سنتی برنج با غرقاب دائم و سامانه کشت مستقیم بذر در بستر خشک "خشکه‌کاری" با مدیریت متناوب آبیاری) بود. در مزارع برنج، پوشش اراضی به مرحله رشد محصول و روش آبیاری بستگی دارد. در دوره رشد برنج، پوشش گیاهی در تقریباً ۲ ماهگی به حداکثر می‌رسد و پس از آن به تدریج تا زمان برداشت کاهش می‌یابد (دی‌لیما و همکاران^۲، ۲۰۲۱). بخشی از خطای موجود در طبقه‌بندی مزارع برنج نسبت به

1 - Machine learning technique

2 - De Lima

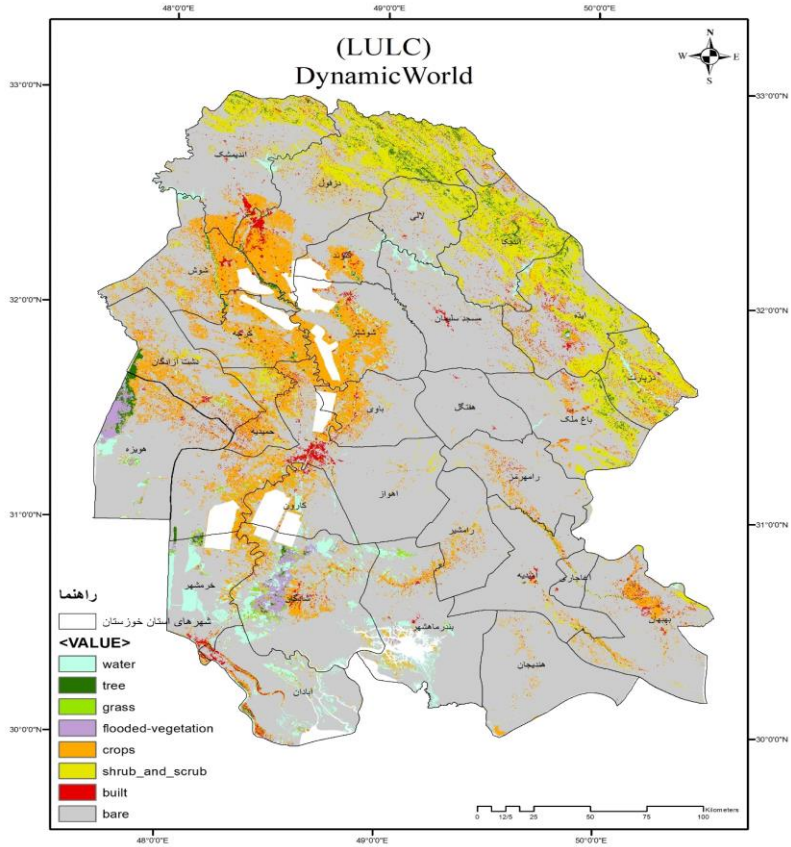
دیگر محصولات (گام اول)، ناشی از پوشش‌هایی است که در منطقه وجود دارد و هم‌زمان با برنج در تیرماه تا شهریورماه به اوج سبزی‌نگی می‌رسند. تاریخ کشت برنج در خوزستان از دهه اول خردادماه در شمال شرق استان تا ۲۵ خردادماه در مناطق مرکزی و جنوبی استان برای روش کشت سنتی با غرقاب دائم است. کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) معمولاً از دهه سوم خردادماه تا دهه اول تیرماه است. برای بهبود مرز تعیین مزارع برنج و رفع مشکل ناشی از وجود لکه‌هایی از طبقه‌بندی‌های دیگر (مانند پهنه‌های آبی، باغ‌ها، مرتع و محصولات زراعی) یا تشخیص‌ندادن نوع کلاس، از کدهای بهبودشده استفاده شد. در اینجا مسیر اجرای کار شرح داده می‌شود.

۲-۵- روند طبقه‌بندی و تفکیک مزارع برنج

در این مطالعه، برای تعیین سطح زیر کشت برنج استان خوزستان و تفکیک روش‌های کشت سنتی برنج با غرقاب دائم از روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) با مدیریت متناوب آبیاری، از تصاویر "سنتینل ۲" و "لندست ۹" از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov/> و ترکیب کیفی تصاویر این دو ماهواره برای وارد کردن نمونه‌هایی از اراضی برنج و سایر محصولات زراعی^۱ (ذرت، یونجه، کنجد، و محصولات جالیزی) استفاده شد. تاریخ دریافت تصاویر در یک بازه کشت برنج یعنی دهه اول خردادماه تا نیمه مهرماه ۱۴۰۲ بود. با نمایش RGB از باندهای 'B12'، 'B8A'، 'B4' به صورت ترکیب باندهای، امکان تشخیص هر چه بهتر اراضی با حوضچه‌های پرورش ماهی و تالاب‌ها فراهم شد. با وارد کردن نمونه‌هایی از کشت‌های زراعی غیربرنج (ذرت، یونجه، کنجد و محصولات جالیزی) در دشت‌هایی که کشت برنج رواج ندارد، مانند دشت بهبهان در زیرحوضه مارون - جراحی، دشت بنه‌باشت در زیرحوضه خیرآباد-زهره، دشت‌های دزفول در زیرحوضه دز-کارون و پشمینه‌زار اندیمشک در زیرحوضه کرخه، کلاسی به نام محصولات غیربرنج در محیط نرم‌افزار ENVI به عنوان ROI ذخیره شد. در

محیط ArcMap، این نمونه‌ها به فرمت شیپ فایل درآمدند و در پلتفرم گوگل ارث‌انجین (GEE) به‌عنوان نمونه‌های زمینی وارد شدند. در مقابل، نمونه‌هایی هم از محصول برنج به‌همین روال تهیه و در سه کلاس خشکه‌کاری، کشت سنتی و مجموع این دو کلاس به‌عنوان "کلاس برنج" تهیه شد. نمونه‌های زمینی کشت برنج ۲۰۹۴ نقطه با مختصات مشخص بودند، برای مزارع با روش کشت سنتی با غرقاب دائم ۱۵۹۴ نقطه و برای روش خشکه‌کاری ۵۰۰ نقطه. نمونه‌های زمینی برای دیگر گیاهان (مانند ذرت، یونجه، کنجد و محصولات جالیزی) که تاریخ کشت منطبق با برنج را داشتند، ۵۱۲ نقطه بودند. در گام اول، طبقه‌بندی روی دو کلاس برنج و دیگر محصولات زراعی اجرا شد. در گام بعدی، طبقه‌بندی با هدف تفکیک مزارع برنج بر حسب روش کشت مبتنی بر مدیریت آبیاری (خشکه‌کاری و سنتی)، روی خروجی کلاس برنج از گام اول، صورت گرفت. پس از گام دوم، اجرای الگوریتم جنگل تصادفی محدود به ناحیه‌ای بود که منحصراً برنج در آنجا موجود بود.

در این مطالعه، از پروداکت DynamicWorld کلاس ۴ استفاده شد که مربوط به زراعت است، و کلاس‌هایی مانند باغ‌ها، پهنه‌های آبی، نواحی بایر، شهر و مواردی که نیاز نبودند حذف شدند. از طرفی دیگر، به‌دلیل اینکه مزارع نیشکر منحصراً در کشت و صنعت‌های شرکت توسعه نیشکر خوزستان یا شرکت‌های کارون و میان‌آب هستند و توجه به این موضوع مهم که نیشکر از منظر حجم آب آبیاری طیف بسیار مشابهی با برنج دارد، از این رو برای سهولت کار، مناطق کشت و صنعت‌های موجود از شیپ فایل اصلی استان خوزستان جدا شدند و در این شرایط، الگوریتم جنگل تصادفی به دقت بالایی از تفکیک مزارع برنج دست پیدا کرد. شکل (۷) نقشه کاربری زمین/پوشش زمین (LULC) محدوده استان خوزستان برحسب طبقه‌بندی‌های مختلف با دقت تقریبی ۹۳ درصد آورده شده است.



شکل ۷- نقشه کاربری زمین/ پوشش زمین استان خوزستان

با توجه به تاریخ کشت برنج در استان خوزستان که از دهه اول خردادماه تا حداکثر دهه اول تیرماه است و با اطمینان به کشت کامل برنج در کل استان، تصویرهای ماهواره‌ای با محدودیت زمانی چهارماهه، ژوئن (June) تا اکتبر (October) ۲۰۲۳، برای

نمونه‌گیری استخراج و در بازه زمانی مذکور در محیط گوگل ارث انجین (GEE)، فیلتر زمانی اجرا شد. از تصویرهای ماهواره‌ای در برآورد میزان شاخص‌های گیاهی، رطوبت خاک، آب، میزان تراکم گیاهی، مقدار کلروفیل، زیست توده (بیوماس)، شاخص سطح برگ و دیگر شاخص‌های موثر برای تفکیک زمین‌های زراعی بررسی و تغییرات این شاخص‌ها برحسب نمونه‌های واقعی برداشت زمینی ارزیابی شد. بنابراین، در گام اول (تفکیک مزارع برنج از دیگر محصولات زراعی)، از بین ۱۵ شاخص موثر ۶ شاخص با توجه به ادغام آن‌ها و داشتن دقت کلی^۱ و ضریب کاپای بالا، انتخاب شد که در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی و تشخیص محصول برنج از دیگر

محصولات زراعی

Indicators	Satellite type	Bands	Resolution
LAI	Sentinel2	B8,B4,B2	10m
EVI	Sentinel2	B8,B4,B2	10m
LSWI	Sentinel2	B8A,B11	20m
ST_B10	Landsat9	B10	30m
SWIR2	Sentinel2	B12	20m
Composite 'VV' & 'VH'	Sentinel1	VV,VH	10m

در گام دوم (تفکیک محصول برنج برحسب نوع کشت و مدیریت آبیاری)، از بین شاخص‌های تشخیص، ۵ شاخص با دقت کلی و ضریب کاپای بالاتر برای اجرای الگوریتم جنگل تصادفی انتخاب شد (جدول ۳).

جدول ۳- شاخص‌های مورد استفاده در تشخیص و تفکیک محصول برنج برحسب روش

کشت و مدیریت آبیاری

Indicators	Satellite type	Bands	Resolution
LSWI	Sentinel2	B8A,B11	20m
Aweinsh	Sentinel2	B3,B8,B11,B12	10m,20m
ST_B10	Landsat9	B10	30m
NPP	WAPOR	-	250m
Composite 'VV' & 'VH'	Sentinel1	VV,VH	10m

بر طبق جدول‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌شود که در محاسبه شاخص‌ها از باندهای ماهواره سنتینل ۲، لندست ۹ و پروداکت WaPOR استفاده شده است. در این راستا، برای بالابردن دقت طبقه‌بندی و کاهش تاثیر پوشش ابر در نتایج برآورد سطح زیرکشت برنج، از تصاویر راداری ماهواره سنتینل ۱ نیز استفاده شد. در اینجا به معرفی این شاخص‌ها پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۵- شاخص سطح برگ^۱ (LAI)

شاخص سطح برگ متغیر بیوفیزیکی حیاتی برای اکوسیستم کشاورزی است (پاسکوالتو و همکاران^۲، ۲۰۱۹). شاخص سطح برگ (LAI)، در دو نوع قابل تشخیص است، شاخص سطح برگ سبز (LAI green) که نمایانگر برگ‌هایی است که از نظر فتوسنتزی فعال هستند و رایج‌ترین نوع LAI است. شاخص سطح برگ قهوه‌ای LAI (brown)، که نشان‌دهنده سطح برگ نرمال شده است که پیر شده عملکرد فتوسنتزی را از دست می‌دهد (دلگیدو و همکاران^۳، ۲۰۱۵). اصول محاسبه تعیین شاخص سطح برگ در رابطه (۱) آورده شده است:

رابطه (۱):

$$\text{LAI Index} = 3.618 * (2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 6 * \text{RED} - 7.5 * \text{BLUE} + 1))) - 0.118$$

که در آن:

NIR: Near Infra Red

RED: Red Band

BLUE: Blue Band

است.

1 - Leaf Area Index

2 - Pasqualotto

3 - Delegido

۲-۵-۲- شاخص گیاهی پیشرفته^۱ (EVI)

شاخص گیاهی پیشرفته مشابه شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) است و می‌تواند برای تعیین کمیت سبزیگی پوشش گیاهی استفاده شود. با این حال، EVI برخی از شرایط جوی و اختلالات پس‌زمینه را تصحیح می‌کند و در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم حساس‌تر است (هیت و همکاران^۲، ۲۰۰۲). فرمول محاسبه تعیین شاخص گیاهی پیشرفته در رابطه^۲ (۲) آورده شده است:

رابطه (۲):

$$\text{EVI Index} = 2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 6 * \text{RED} - 7.5 * \text{BLUE} + 1))$$

۳-۲-۵- شاخص آب سطح زمین^۳ (LSWI)

این شاخص شامل بازتاب موج کوتاه است. نوار فرورسرخ به رطوبت خاک و رطوبت پوشش گیاهی حساس است و می‌تواند برای پایش تغییرات رطوبت خاک استفاده شود (میائو و همکاران^۴، ۲۰۲۱). فرمول محاسبه این شاخص با باندهای ماهواره سنتینل ۲ در رابطه^۳ (۳) آورده شده است.

رابطه (۳):

$$\text{LSWI Index} = (\text{B8A} - \text{B11}) / (\text{B8A} + \text{B11})$$

۴-۲-۵- شاخص دمای سطح زمین^۵ (LST) یا (ST_B10)

پایش دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن در مطالعات مختلف مانند تحقیقات زیست‌محیطی، تغییر کاربری اراضی،

-
- 1 - Enhanced Vegetation Index
 - 2 - Huete
 - 3 - land surface water index
 - 4 - Miao
 - 5 - Land Surface Temperature

مدیریت منابع آب و پایش خشکسالی به‌ویژه در مقیاس‌های محلی مهم است. داده‌های سنجش از دور می‌توانند پوشش فضایی طولانی مدت و مستمر شاخص دمای سطح زمین (LST) را فراهم کنند (تقی‌خانی و همکاران، ۱۴۰۱). با این حال، داده‌های LST بازیابی شده از تصاویر باند فرورسرخ حرارتی^۱ (TIR) با تفکیک مکانی ۲۰ متری برای تصاویر سنتینل ۲ در تعیین دمای سطح محصولات و تفکیک برنج از دیگر محصولات بسیار با-اهمیت است. این موضوع به این دلیل مهم است که محصول برنج در مقایسه با دیگر محصولات زراعی موجود در منطقه دمای سطح زمین کمتر دارد و تحت تاثیر رطوبت منطقه قرار می‌گیرد.

۵-۲-۵- شاخص (AWEInsh)^۲

این شاخص دقت استخراج آب را به‌طور مداوم در حضور انواع مختلف اختلالات محیطی بهبود می‌بخشد و در عین حال یک مقدار آستانه پایدار از تفکیک ابرها با آب و تاثیر سایه‌های توپوگرافی ارائه می‌دهد که همگی دارای ویژگی‌های طیفی مشابه هستند (کاپلان و همکاران^۳، ۲۰۱۷). شاخص AWEInsh بهتر از دیگر شاخص‌ها اعم از AWEIsh^۴ و NDWI^۵ عمل می‌کند (فیسسا و همکاران^۶، ۲۰۲۱). هدف استفاده از این شاخص در مطالعه حاضر، بهبود دقت تفکیک سطح زیر کشت برنج سنتی به‌صورت غرقاب دائم از سامانه کشت خشکه‌کاری با روش مدیریت آبیاری متناوب است. رابطه (۴) محاسبه این شاخص را بیان می‌کند.

1 - Thermal Infrared Sensor

2 - Automated Water Extraction Index for remove shadow

3 -Kaplan

4 - Automated Water Extraction Index for remove shadow

5 - Normalised Difference Water Index for areas with an urban background

6 -Feyisa

رابطه (۴):

$$\text{AWEInsh Index} = (4 * (\text{Green} - \text{SWIR1})) - (0.25 * \text{NIR}) - (2.75 * \text{SWIR2})$$

در رابطه (۴)،

Green: Green Band

SWIR1: Short-Wavelength InfraRed (Band11 Sentinel-2 - 1610 nm)

SWIR2: Short-Wavelength InfraRed (Band12 Sentinel-2 - 2190 nm)

است.

۶-۲-۵- شاخص NPP^۱

مهم‌ترین ویژگی هر اکوسیستم، تولید اولیه خالص (NPP) است. شاخص NPP بیان‌کننده آن است که فتوسنتز چگونه دی‌اکسیدکربن را به زیست توده (بیوماس) تبدیل می‌کند. اصطلاح NPP به گروهی از تعاریف اشاره دارد که تبادل کربن بین یک اکوسیستم و جو را تعریف می‌کند. تولید اولیه خالص (NPP) و بهره‌وری آب^۲ (WP) برای حوضه با استفاده از پورتال^۳ WaPOR در پلتفرم گوگل ارث انجین برای یک دوره ۱۰ روزه با وضوح فضایی ۲۵۰ متر موجود است. تفاوت بین زیست‌توده و عملکرد ناشی از روش خشکه‌کاری و کشت سنتی برنج به علت تفاوت در تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری باعث شد تا از این شاخص برای تفکیک این دو سامانه کشت استفاده شود.

۳-۵- اعتبارسنجی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از نمونه‌های آموزش داده شده استفاده شد. برای هر یک از کلاس‌ها ۷۰ درصد داده‌ها به‌عنوان نمونه‌های آموزشی (Training) و ۳۰ درصد دیگر به‌صورت رندوم برای اعتبارسنجی (Testing) در نظر گرفته شد. دقت کلی و ضریب کاپا با کدنویسی در محیط گوگل ارث انجین محاسبه گردید. الگوریتم طبقه‌بندی Smile

1 - Net Primary Production Index

2 - Water Productivity

3 - FAO Water Productivity Open-access portal

Random Forest با ۸۰ تعداد درخت تصمیم به تعداد گره‌های ۷۹۶ نود برای هر درخت به صورت تصادفی برای تفکیک مزارع برنج از مزارع غیر برنج با ۶ شاخص منتخب اجرا شد. پس از آن برای تفکیک سامانه‌های مختلف کشت و مدیریت آبیاری متفاوت برنج، با همین تعداد ۸۰ درخت تصمیم ولی تعداد گره‌های ۵۸۶ نود و با ۵ شاخص منتخب انجام شد.

۴-۵- صحت‌سنجی با داده‌های زمینی

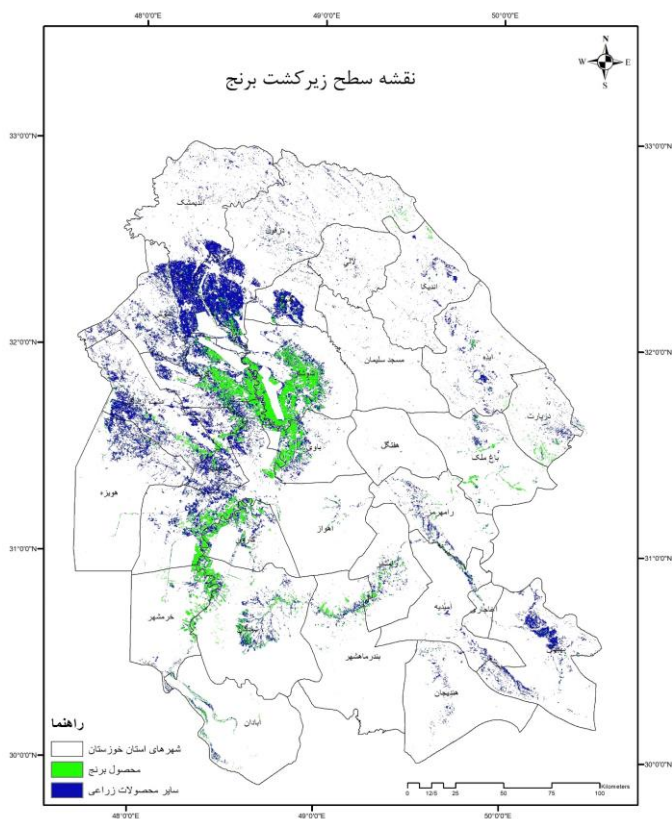
پس از تهیه نقشه محصول برنج از دیگر محصولات و همچنین نقشه تفکیک مزارع برنج براساس روش کاشت و مدیریت آبیاری با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین در پلتفرم GEE، با هدف صحت‌سنجی نقشه‌های مذکور، عملیات پایش و نمونه‌برداری برای کل استان به صورت پراکنده از مزارع برنج با روش‌های کاشت مختلف اجرا شد. نمونه‌های برداشت شده شامل ۴۲۵ مزرعه بود. سرانجام، نقاط مزارع نمونه‌برداری شده و نقشه تفکیک محصول در محیط ArcMap روی هم (OverLap) قرار داده شد و مورد تطبیق و بررسی قرار گرفت.

فصل ششم

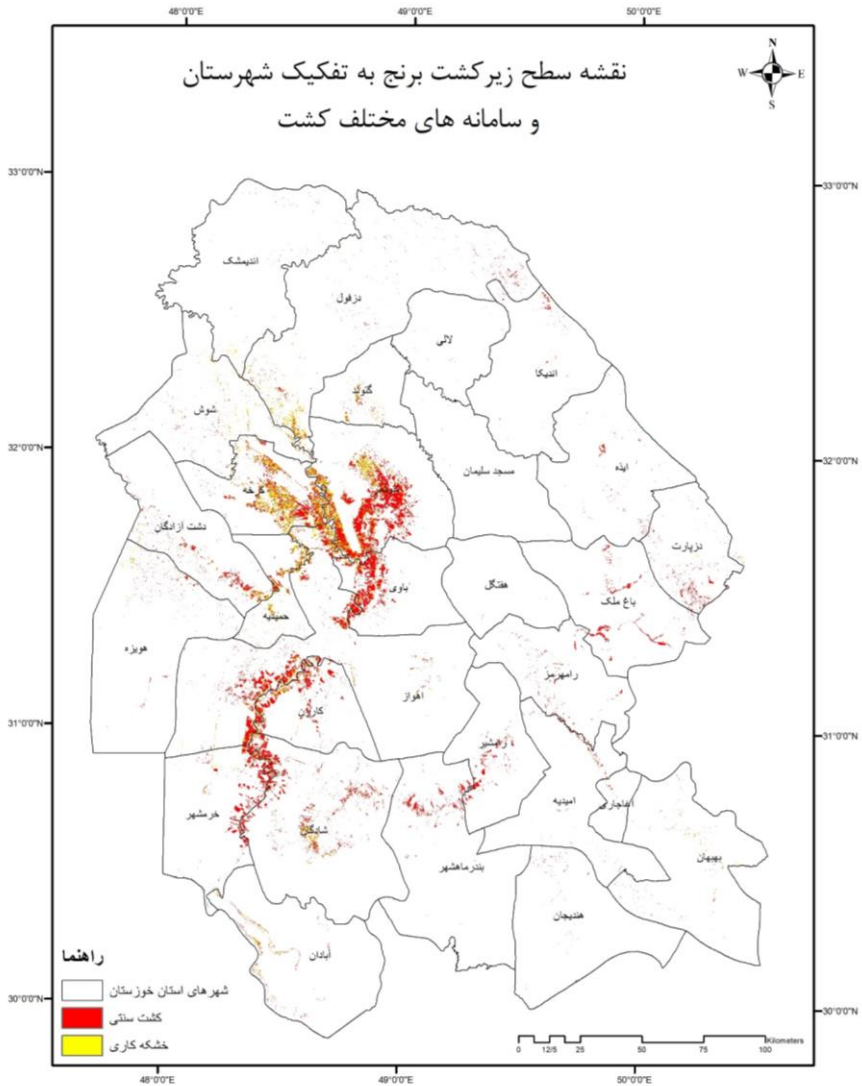
سطوح و نقشه‌های مزارع برنج به تفکیک روش‌های کاشت در حوضه‌های آبریز و جغرافیای شهرستانی

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، در گام اول که تفکیک مزارع برنج از محصولات زراعی غیربرنج بود (محصولاتی که دارای تاریخ کشت یا دوره رشد هم‌زمان با برنج داشتند مانند محصولات جالیزی، ذرت، یونجه و کنجد)، از شاخص‌های LSWI، EVI، LAI، Composite 'VV' & 'VH' Sentinel1 و SWIR2.ST_B10 استفاده شد (جدول ۲). به دلیل استفاده از شاخص‌های مختلف با ترکیب باندهای متفاوت ذکر شده در جدول مذکور، نتیجه طبقه‌بندی به صورت تفکیک مکانی در حدود ۱۰ متر با پیکسل‌هایی با مساحت ۰/۰۰۸۵ هکتار بود. به دلیل این تفکیک مکانی، احتمال وجود لکه‌هایی از کلاس‌های دیگر برای تشخیص بهینه، بالاتر رفت. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای برآورد بود، به طوری که با دقت کلی ۹۴/۹۲ درصد در تفکیک برنج از دیگر محصولات زراعی و ضریب کاپای ۰/۸۵، سطح زیر کشت برنج در استان خوزستان حدود ۱۷۹۹۴۲ هکتار برآورد شد (شکل‌های ۸ و ۱۰). در گام دوم، تفکیک کلاس برنج به دو کلاس برحسب سامانه کشت و مدیریت آبیاری (کشت سنتی برنج با غرقاب دائم و سامانه کشت مستقیم بذر در بستر خشک با مدیریت متناوب آبیاری)، از شاخص‌های LSWI، Aweinsh

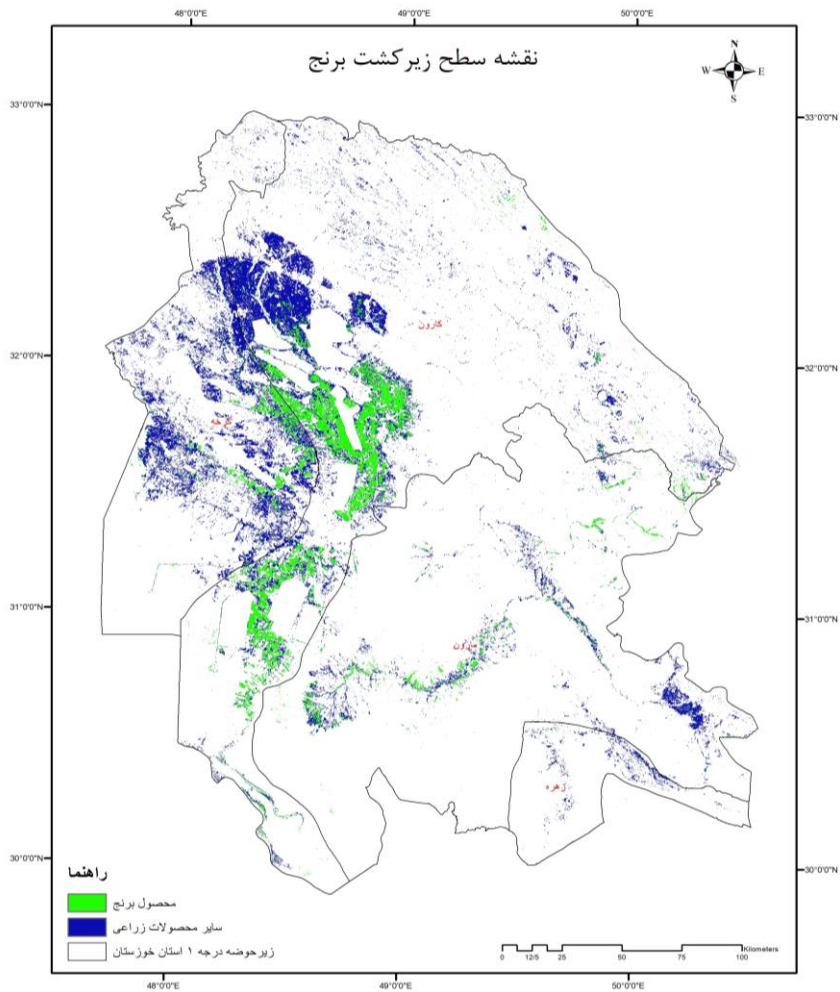
نتایج به دست آمده سطح زیرکشت برنج با سامانه سنتی و مدیریت آبیاری غرقاب دائم را ۱۳۶۷۷۰ هکتار و کشت برنج به روش خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری را ۴۳۱۷۲ هکتار نشان داد. در این شرایط، دقت کلی تفکیک مزارع برنج برحسب نوع کشت در حدود ۹۹/۶۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۷ بود (شکل‌های ۹ و ۱۱).



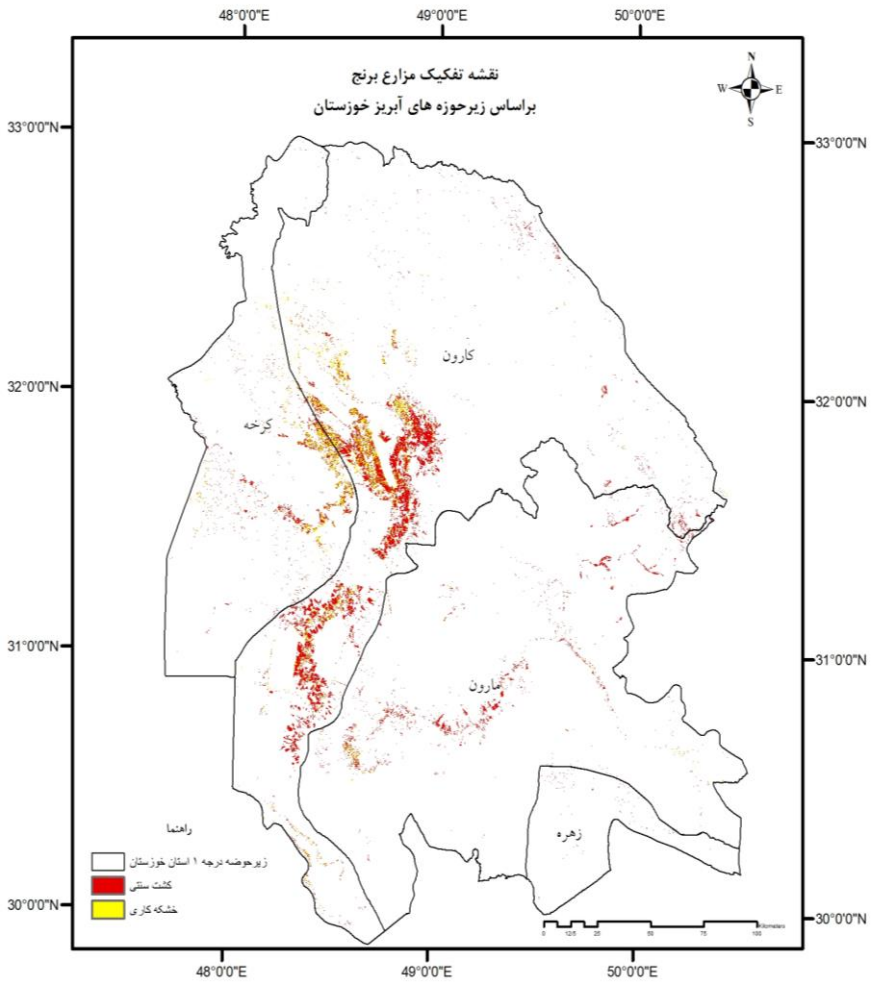
شکل ۸- نقشه موقعیت کشت برنج در استان خوزستان براساس مرز جغرافیایی شهرستان



شکل ۹- نقشه موقعیت کشت برنج در خوزستان برای سامانه های کشت براساس مرز جغرافیایی شهرستان

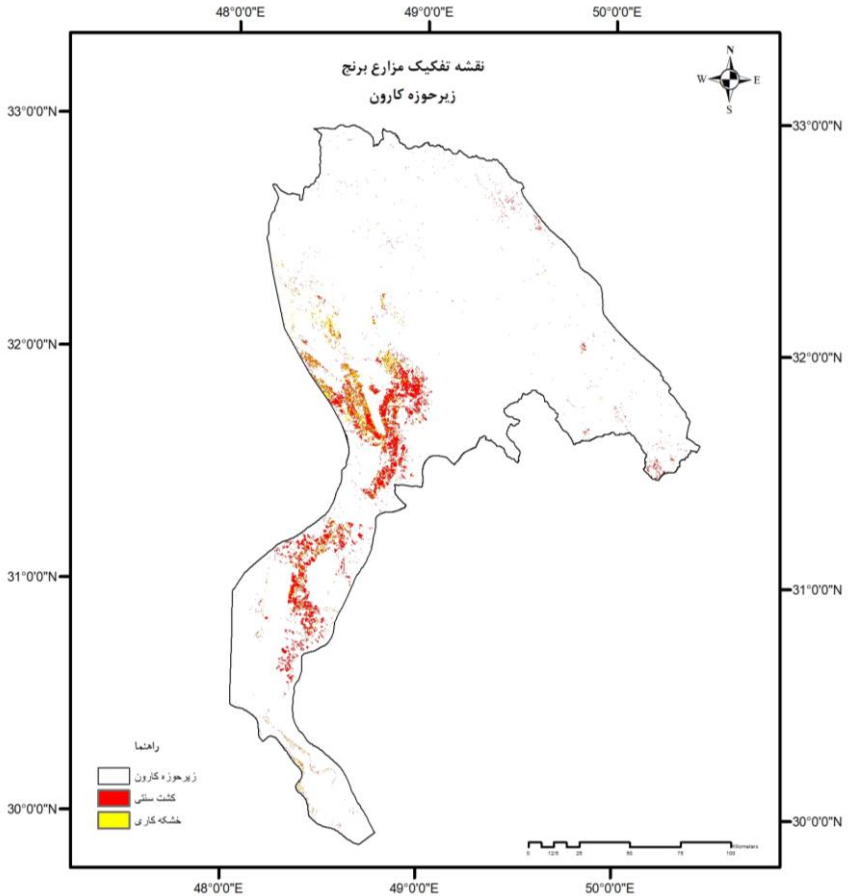


شکل ۱۰- نقشه موقعیت کشت برنج در استان خوزستان براساس محدوده زیرحوضه‌های آبریز درجه ۱

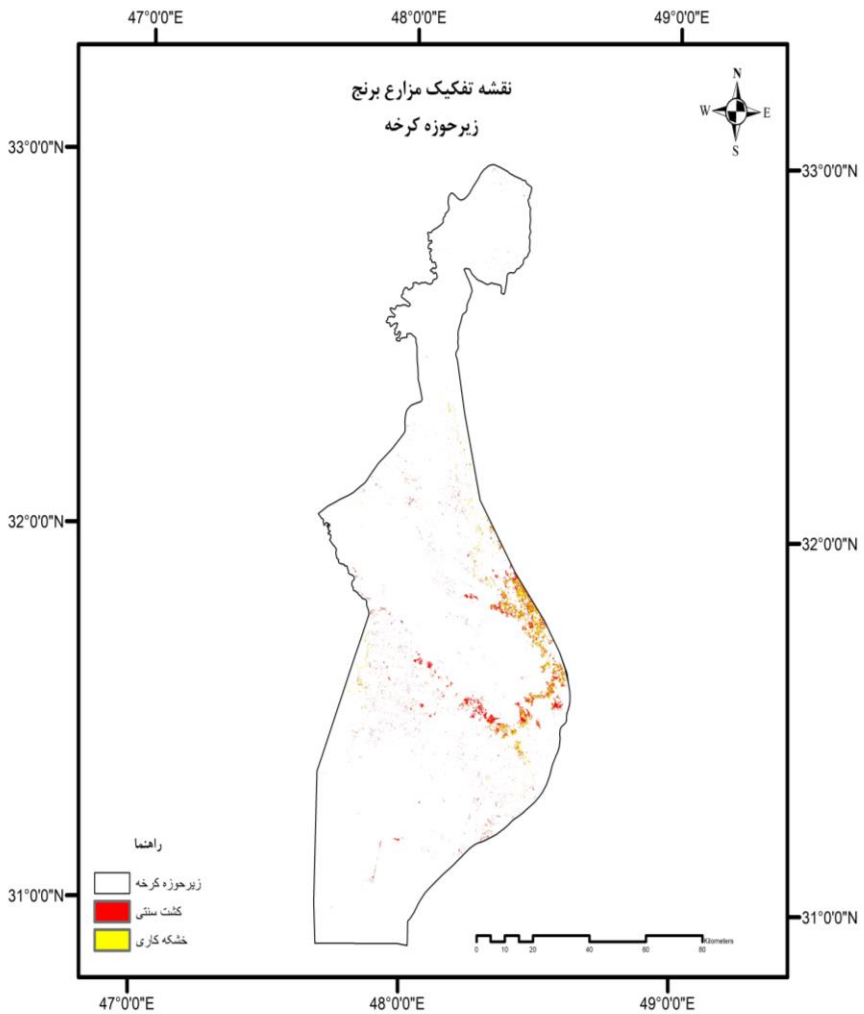


شکل ۱۱- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت براساس محدوده زیرحوضه های آبریز درجه ۱ استان خوزستان

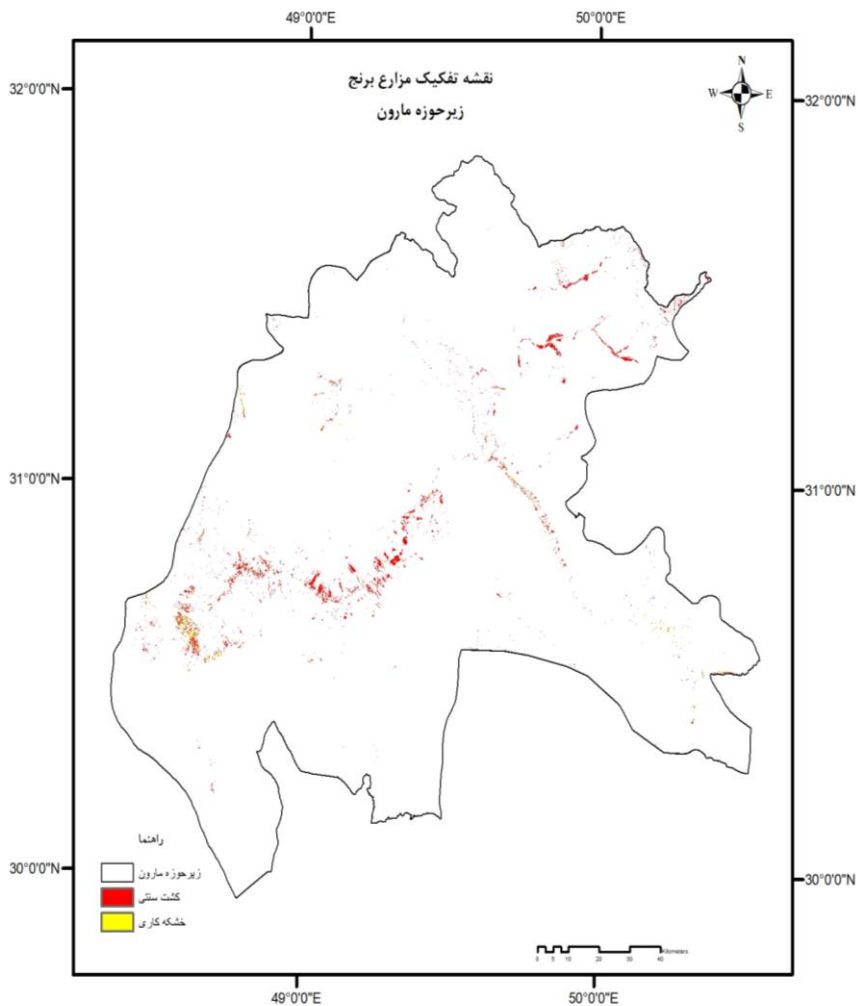
نقشه‌های تفکیک مزارع برنج براساس روش کاشت مبتنی بر مدیریت آبیاری (غرقاب دائم و یا تناوب آبیاری) در زیرحوضه‌های مختلف آبریز در استان خوزستان در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ آورده شده است.



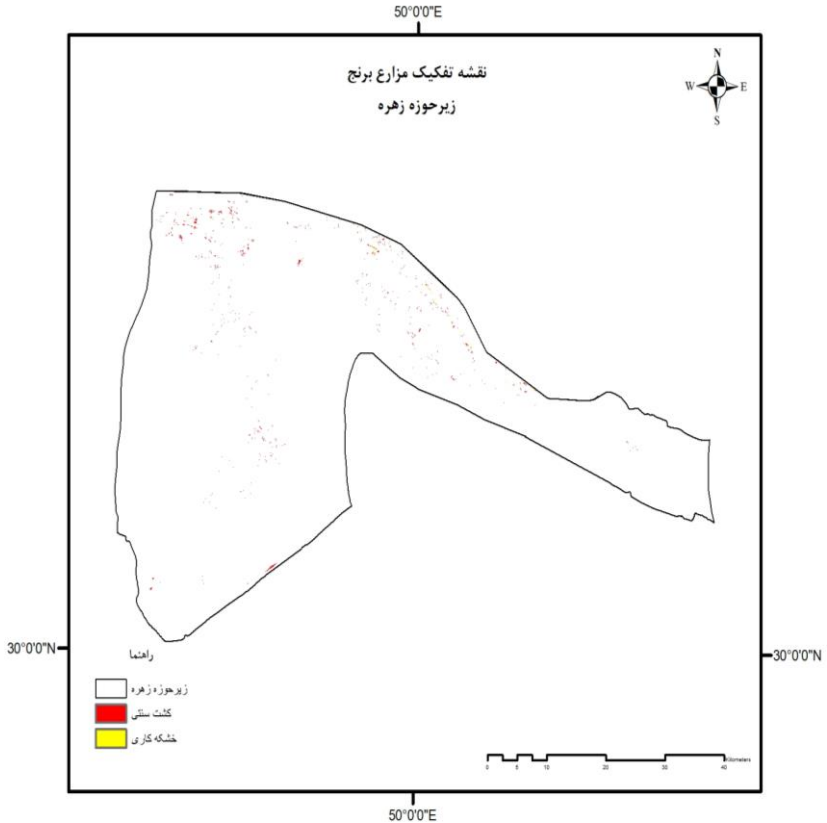
شکل ۱۲- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در زیرحوضه کارون



شکل ۱۳- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در زیرحوضه کرخه



شکل ۱۴- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در زیرحوضه مارون-جراحی



شکل ۱۵- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در زیرحوضه زهره-هندیجان

براساس شکل (۹) و با اجرای برش شهرستانی، سطح زیر کشت برنج برای هر شهرستان با توجه به روش کاشت (سنتی و خشکه کاری) در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به شکل‌های (۱۱) تا (۱۵)، براساس برش در محدوده زیرحوضه‌های آبریز، سطح زیرکشت برنج با توجه به روش کاشت و مدیریت آبیاری برای هر زیرحوضه در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۴ - سطح زیرکشت برنج (هکتار) استان خوزستان به تفکیک هر شهرستان با توجه به

سامانه کشت و مدیریت آبیاری

سامانه کشت		شهرستان
خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری	کشت سنتی با غرقاب دائم	
۱۴۸/۵	۶۸۶/۸۶	بهبهان
۱۶۰۰	۱۱۹۱۱	باوی
۷۲/۸۵	۳۹۳۱/۷۴	ماهشهر
۳۸/۰۷	۳۶۸۴/۹۳	باغملک
۳۶۱/۴	۱۱۳/۱۷۷	اندیمشک
۲۲/۲۴	۶۹۴/۶۰۳	اندیکا
۶۱۰۰	۱۹۹۴۷/۱	اهواز
.	۷۴/۴۲۷	آغاجری
۹۰۴/۲	۱۸۰۹/۷	آبادان
۳۰۰	۴۵۶۴/۲۸	دشت آزادگان
۶۳/۶	۲۵۶۶/۹۹	دزپارت
۲۸۳۰	۲۵۱۷/۵۷	دزفول
۷۰۰	۹۰۸/۹۶۵	گتوند
.	.	هفتگل
۷۲/۲۳	۲۶۴۶/۱۴	حمیدیه
۴۷	۱۰۰/۴۹۱	هندیجان
۲۳۴	۱۴۱۱/۴۶	هویزه
۵۵/۳۹	۹۷۰/۳۷۷	ایذه
۸۳۰۰	۱۳۷۴۴/۶	کرخه
۱۸۸۰	۸۳۵۵/۷۳	کارون
۷۲۲/۱	۸۰۶۵/۳۸	خرمشهر
۱۱/۴۹	۹۰/۹۸	لالی
.	.	مسجد سلیمان
۱۰۰	۹۳۸/۷۴	امیدیه
۳۰۰	۱۶۸۶/۳۶	رامهرمز
۵۰	۲۶۱۵/۱۷	رامشیر
۱۹۱۳	۱۰۴۶۰/۷	شادگان
۱۳۴۶	۱۶۵۱/۷۹	شوش
۱۵۰۰۰	۳۰۶۲۱	شوشتر
۴۳۱۷۲	۱۳۶۷۷۰	جمع نهایی

جدول ۵ - سطح زیرکشت برنج (هکتار) به تفکیک زیرحوضه های آبریز درجه ۱ استان خوزستان با توجه به سامانه کشت و مدیریت آبیاری

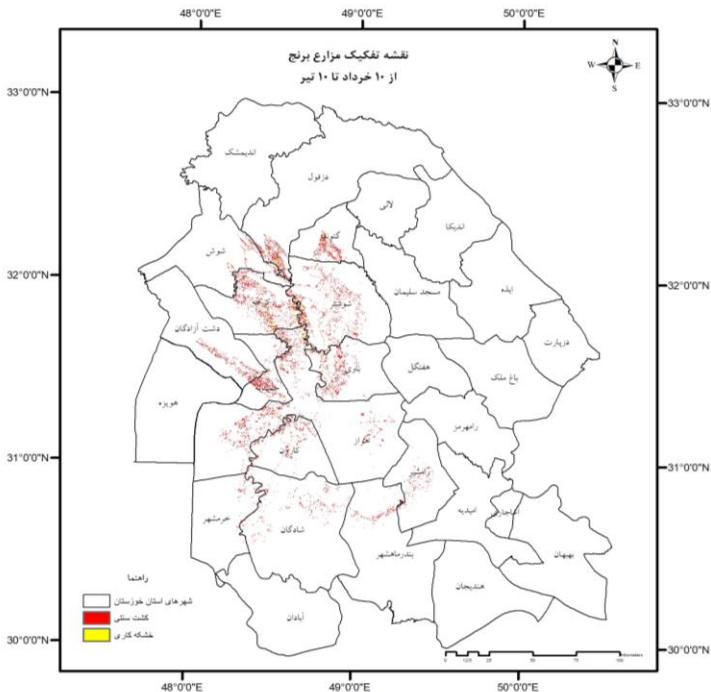
حوضه آبریز	سامانه کشت و مدیریت آبیاری	سطح زیر کشت در هر حوضه
	کشت سنتی با غرقاب دائم	مجموع سطوح با روش کشت های مختلف
کارون	۹۵۴۶۰	۱۲۶۰۶۲
کرخه	۲۴۱۳۲	۳۴۷۴۵
مارون-جراحی	۱۷۰۷۷	۱۸۹۸۷
زهره-هندیجان	۱۰۱	۱۴۸
جمع نهایی	۱۳۶۷۷۰	۱۷۹۹۴۲

شکل های (۹) تا (۱۵) و خروجی جدول های (۴) و (۵) نشان می دهند تمرکز کشت برنج در حوضه آبریز کارون با سطح زیرکشت بالغ بر ۱۲۶۰۰۰ هکتار است. بیشترین سطح زیرکشت در این حوضه از پایین دست سد گتوند تا جنوب غرب استان (شهرستان خرمشهر) را در برمی گیرد (شکل ۹). در حوضه کارون، بالغ بر ۹۵۰۰۰ هکتار کشت سنتی و ۳۰۶۰۲ هکتار کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه کاری) با آبیاری متناوب اجرا شده است که بیشترین سطح را در دو روش کاشت برنج در کل استان در بر دارد. در این حوضه، شهرستان شوشتر با ۳۰۶۲۱ هکتار سطح زیرکشت برنج به روش سنتی و ۱۵۰۰۰ هکتار به روش خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری، بیشترین مساحت با روش کشت های متفاوت را در این حوزه و در کل استان داشت. اما در حوضه کرخه که محدودیت منابع آب دارد، ۱۰۶۱۳ هکتار کشت به روش خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری اجرا شده است. بیشترین سطح زیر کشت با این روش کاشت در شهرستان کرخه با حدود ۸۳۰۰ هکتار است. در شهرستان های حمیدیه، دشت آزادگان و هویزه با وجود اینکه در انتهای حوضه کرخه قرار دارند، متاسفانه بیشتر به کشت برنج با روش سنتی (کشت بذر

جوانه‌دار در بستر مرطوب) همراه با غرقاب دائم می‌پردازند. این موضوع از نظر راهبردی می‌تواند تاثیر منفی بسیاری بر تالاب هورالعظیم به‌عنوان زیست‌بوم منطقه، تامین آب برای کشت‌های پاییزه و مسائل شرب منطقه داشته باشد. این مسئله برای شهرستان‌های شادگان، خرمشهر و آبادان که محدوده اراضی آنها در انتهای حوضه کارون قرار دارند، نیز صادق است. برداشت بی‌رویه آب در حوضه کارون، به‌خصوص در نبود مدیریت آب در مزرعه در روش‌های کشت سنتی برنج و با تامین آب برای نخیلات، کاهش کیفیت آب کارون و هجوم آب شور خلیج فارس و اروندرود (در اثر اختلاف چگالی آب بین آب شور و شیرین ناشی از کاهش حجم آب کارون در پایین‌دست) را به سمت شهرستان‌های آبادان و خرمشهر در پی خواهد داشت. در حوضه آبریز مارون-جراحی، کشت سنتی بسیار رایج است، با این همه در قسمت‌هایی از بهبهان، رامهرمز، امیدیه، رامشیر و شادگان نیز مبادرت به کشت خشکه‌کاری کرده‌اند. در این حوضه، کشت سنتی نشاکاری بسیار رایج است، به طوری که در شهرستان باغملک با داشتن سطح زیر کشت حدود ۳۷۰۰ هکتار، بیشترین مساحت برنج به روش نشاکاری دیده می‌شود.

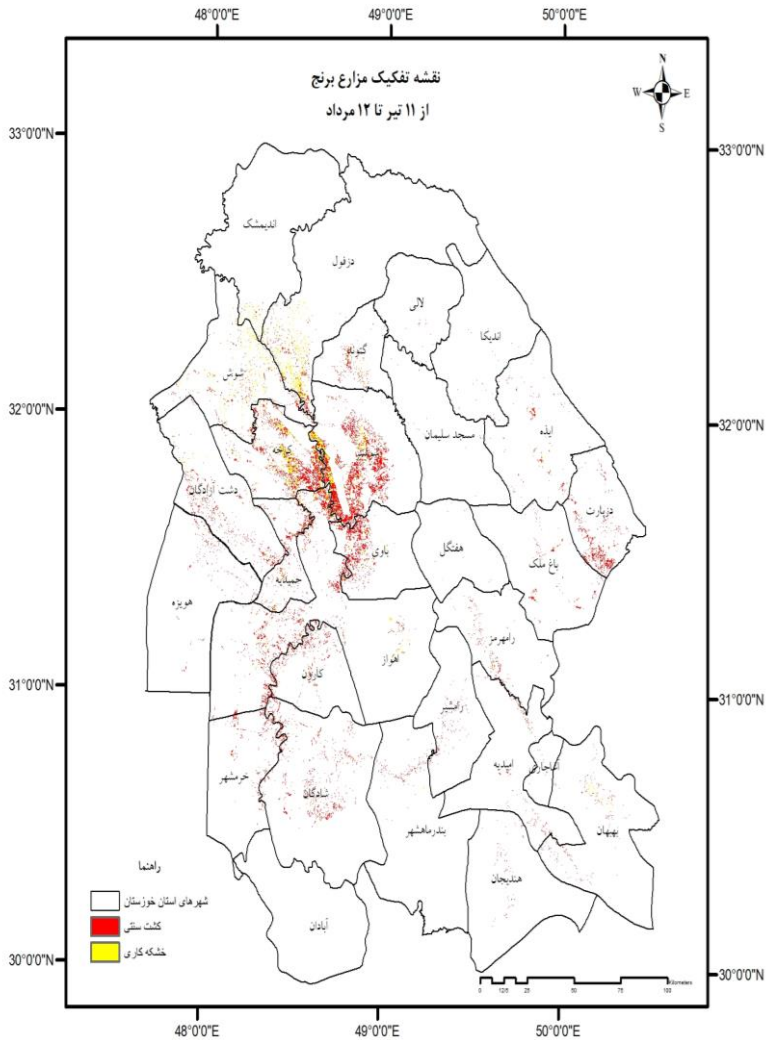
در این مطالعه سطح زیرکشت برنج با سامانه خشکه‌کاری همراه با مدیریت متناوب آبیاری قابل تشخیص بود زیرا میزان رطوبت خاک و گیاه، دمای سطح زمین و میزان زیست‌توده در این روش با روش سنتی برنج تفاوت دارد. هرچند ممکن است در سطح وسیع‌تری از استان به استفاده از روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) مبادرت داشته‌اند. اما آنچه اهمیت دارد این است که سامانه خشکه‌کاری روش کاشت است و سامانه کشت به تنهایی تاثیری در کاهش حجم آب آبیاری و آب مصرفی گیاه ندارد، بلکه این مدیریت آبیاری متناوب براساس میزان تخلیه مجاز رطوبتی گیاه برنج است که درکنار سامانه کاشت باعث کاهش محسوس آب آبیاری و آب مصرفی گیاه می‌شود. این موضوع روشن می‌سازد که در سطح استان با وجود استفاده از روش کشت خشکه‌کاری، متأسفانه در بعضی مناطق از تناوب آبیاری استفاده نمی‌شود و مانند روش‌های سنتی به صورت

روزانه یا غرقاب دائم آبیاری می‌کنند. این مسئله در اواخر شهریور تا اوایل آبان‌ماه (زمان پرشدن دانه) بسیار محسوس است. شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ تغییرات سطح زیر کشت برنج با روش‌های کاشت مختلف را از خردادماه (شروع کشت برنج در خوزستان) تا نیمه مهرماه (پرشدن دانه و انتهای فصل کشت) نشان می‌دهد. جدول (۶) با اجرای برش برای طبقه‌بندی‌های مختلف سامانه کاشت براساس شکل‌های ۱۶ تا ۱۹، سطح زیر کشت روش سنتی برنج با غرقاب دائم، نسبت به روش خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری را نشان می‌دهد.

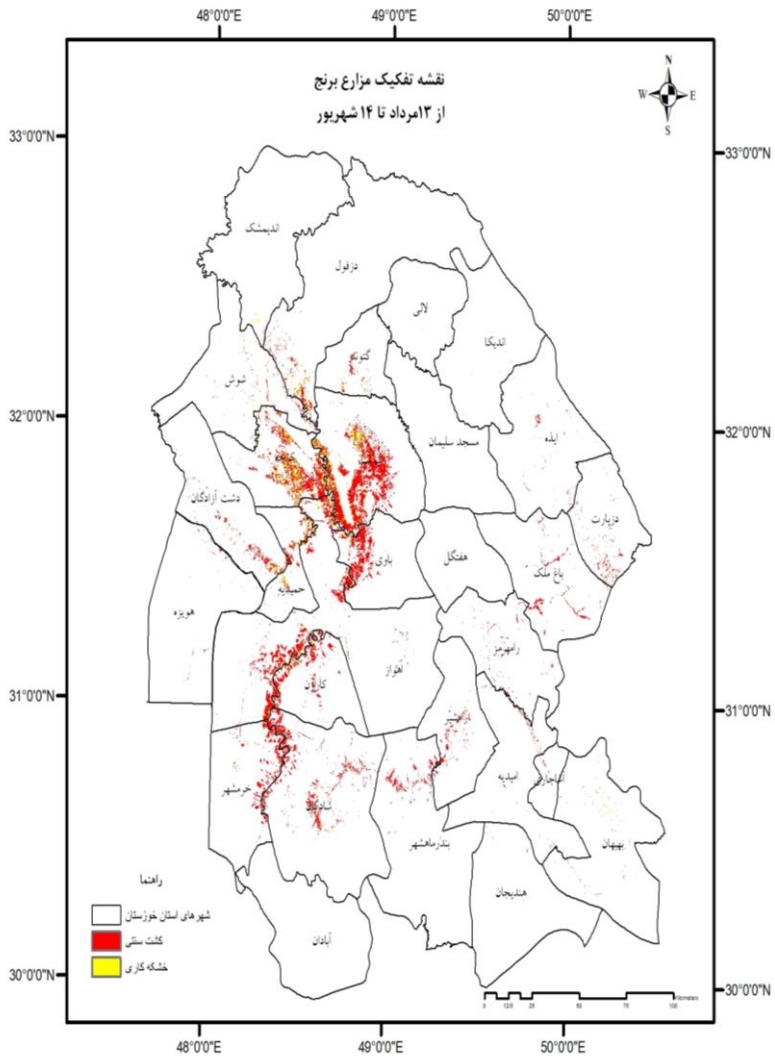


شکل ۱۶- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در بازه زمانی خرداد تا تیر

تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج... نقشه تفکیک مزارع برنج

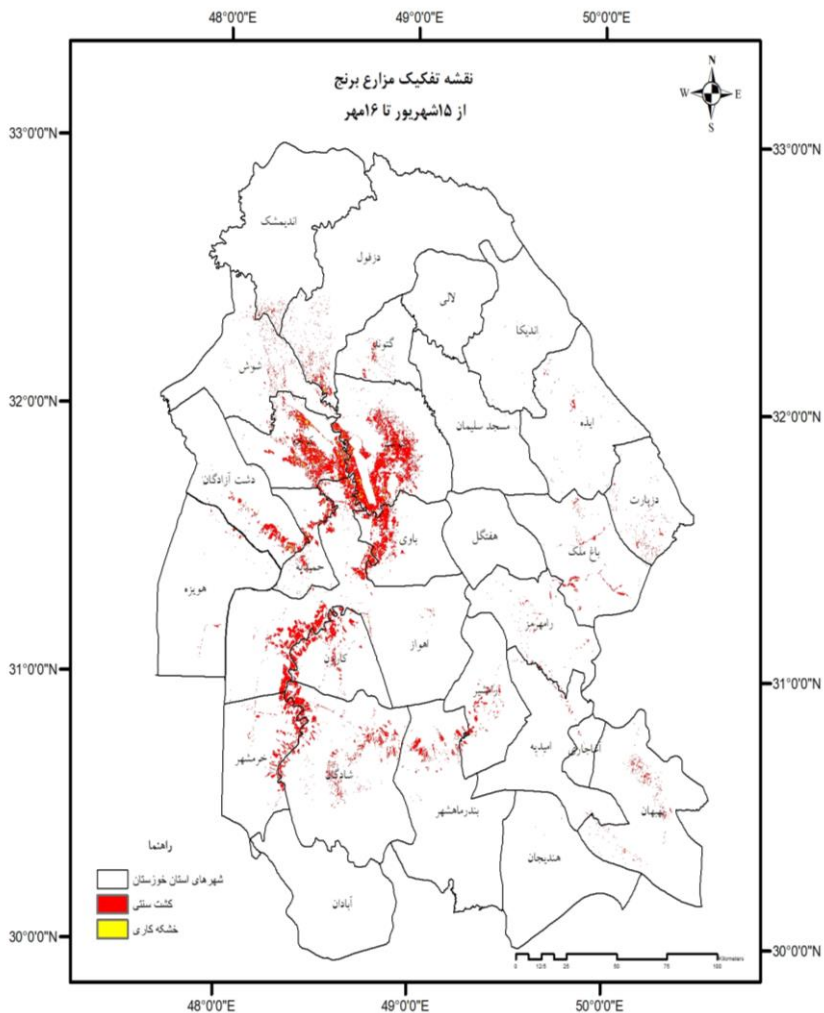


شکل ۱۷ - نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در بازه زمانی تیر تا مرداد



شکل ۱۸- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در بازه زمانی مرداد تا شهریور

تشخیص سطح سامانه‌های مختلف کشت مزارع برنج... نقشه تفکیک مزارع برنج از ۱۵ شهریور تا ۱۶ مهر



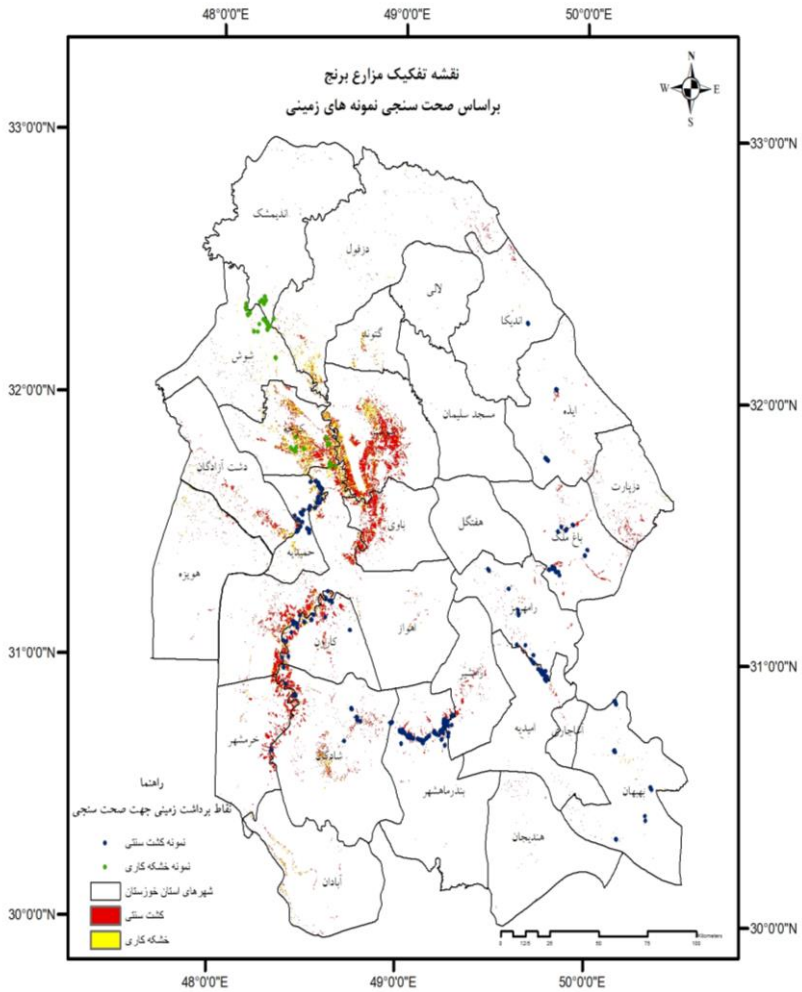
شکل ۱۹- نقشه موقعیت کشت برنج به تفکیک سامانه کشت در بازه زمانی شهریور تا مهر

جدول ۶- سطح زیر کشت برنج (هکتار) استان خوزستان به تفکیک ماه‌های فصل کاشت و داشت با توجه به سامانه کشت و مدیریت آبیاری

بازه زمانی	کشت سنتی با غرقاب دائم	خشکه کاری با مدیریت متناوب آبیاری	سطح زیر کشت در هر حوزه
			مجموع سطوح با روش کشت‌های مختلف
۱۰ خرداد - ۱۰ تیر	۸۴۹۶۸	۴۰۰۳	۸۸۹۷۲
۱۱ تیر - ۱۲ مرداد	۱۲۳۶۴۹	۳۱۶۳۷	۱۵۵۲۷۶
۱۳ مرداد - ۱۴ شهریور	۱۳۶۷۷۰	۴۳۱۷۲	۱۷۹۹۴۲
۱۵ شهریور - ۱۶ مهر	۱۷۴۶۳۸	۵۳۰۴	۱۷۹۹۴۲

آنچه از جدول ۶ نتیجه می‌شود این است که روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک از اواخر خردادماه آغاز می‌شود. این درحالی است که آغاز کشت سنتی برنج حدود یک‌ماه زودتر است. یکی از دلایل کاهش عملکرد روش خشکه‌کاری شاید همین تاریخ کاشت باشد. براساس جدول ۶، از اواخر تیرماه تقریباً سطح زیر کشت برنج در خوزستان تکمیل شده است. اما موضوع بسیار قابل توجه این است که از اواخر شهریورماه سطح زیر کشت برنج با روش خشکه‌کاری کاهش محسوس یافته است که بدان معنی نیست که برداشت مزارع آغاز شده است، بلکه همان‌طور که در پیش اشاره شد، کشاورزان از اواخر شهریورماه که مقارن با تشکیل گلدهی برنج است، مدیریت آبیاری را از تناوب خارج می‌کنند و به سمت آبیاری روزانه تغییر می‌دهند. این نوع مدیریت تا زمان برداشت محصول اتفاق خواهد افتاد. شاخص‌های مهم قابلیت تشخیص مزارع برنج با استفاده از روش سنجش از دور با الگوریتم یادگیری ماشین براساس نوع روش کاشت نشان می‌دهند که مزارع خشکه‌کاری با دور آبیاری روزانه به شرایط کشت سنتی با غرقاب دائم تبدیل شده‌اند. این موضوع می‌تواند تاثیر روش خشکه‌کاری بر کاهش آب مصرفی در سطح حوضه‌های آبریز را تقلیل دهد. از این رو باید به این موضوع مهم توجه داشت که ترویج روش نوین خشکه‌کاری در صورتی به‌عنوان

یک تکنیک بهزرایی قابل قبول است که همراه با مدیریت صحیح آبیاری باشد. این مدیریت، رعایت تناوب آبیاری براساس تغییرات رطوبت خاک و نمایه گیاهی منطبق با تبخیر و تعرق گیاهی در فصل رشد است و باید تا پایان فصل رشد رعایت گردد. از این رو برنجکاران در استفاده از روش خشکه‌کاری، به منظور جلوگیری از کاهش سطح عملکرد محصول، باید روی تاریخ کاشت و مدیریت تغذیه کودی در کنار مدیریت آبیاری توجه داشته باشند. سرانجام از ۴۲۵ مزرعه در سطح استان نمونه زمینی (مختصات) گرفته شد. این مزارع شامل هر دو روش کاشت بودند. نقاط مزارع نمونه برداری شده و نقشه تفکیک محصول در محیط ArcMap روی هم^۱ قرار داده شد. شکل (۲۰) این نقاط را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل پیداست، تمام نمونه‌ها در مزارع برنج که توسط الگوریتم یادگیری ماشین در پلتفرم GEE تهیه شده است، به تفکیک روش کاشت قرار گرفت که خود نتیجه صحت بالای این روش در تشخیص محصول است.



شکل ۲۰- نقشه صحتسنجی موقعیت کشت برنج مستخرج از روش سنجش از دور با داده های زمینی

فصل هفتم

جمع بندی

تخمین سطح زیرکشت با روش کارشناسی دقت بسیار اندکی دارد و نمی‌توان از نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور استفاده کرد. در سال‌های اخیر، از فناوری‌های نوین همچون سنجش از دور و سامانه‌ اطلاعات جغرافیایی به دلیل هزینه و زمان کمتر استفاده شده است. فناوری سنجش از دور می‌تواند اطلاعات به‌موقع و دقیقی در مورد توزیع محصول، سطح کاشت و تولید بالقوه برای تصمیم‌گیرندگان در سطوح مختلف فراهم کند. نتایج به‌دست آمده از محاسبه سطح زیرکشت برنج، تفکیک برنج برحسب نوع کشت و دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپای بالا در استان خوزستان، موید کارایی بالای استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور در برآورد دقیق سطح زیرکشت و البته کلیه کارها در حیطه کشاورزی است، به طوری که در تخمین‌های کارشناسی سطح زیر کشت برنج استان خوزستان برای سال زراعی ۱۴۰۲، حدود ۱۴۰ هزار هکتار برآورد شد. براساس این برآورد، ۵۰ درصد سطح زیرکشت به روش خشکه‌کاری اختصاص داده شد، در حالی که توجه به جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت و مدیریت آبیاری برنج در استان براساس روش‌های نوین سنجش از دور و تطبیق آن با داده‌های زمینی، اختلاف معنی‌داری با برآوردهای کارشناسی دارد. یکی از برتری‌های استفاده از داده‌های

ماهواره‌ای، کمترین دست‌کاری یا دخالت بشر در خروجی است زیرا از تحلیل باندها و طیف‌های الکترومغناطیسی برای ثبت در هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای استفاده و با اجرای الگوریتم‌هایی اطلاعات آن پیکسل استخراج می‌شود. در محیط پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE)، پردازش داده‌های ماهواره‌ای که ممکن است ماه‌ها و حتی سال‌ها طول بکشد، اعم از تصحیح تصویرهای ماهواره‌ای، برش و ادغام آنها به راحتی با کدنویسی به زبان JavaScript و محیطی کاربرپسند ارائه می‌گردد و علاوه بر کاهش زمان صرف شده، امکان وجود خطای انسانی را به حداقل می‌رساند. استفاده از روش یادگیری ماشین در حیطه کاربردهای کشاورزی خیلی کارتر از روش آستانه‌گذاری عمل می‌کند، زیرا از یادگیری پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی در جهت طبقه‌بندی حرکت می‌کند و ممکن است حد آستانه‌ای که تعریف می‌شود، متغیر باشد و این کار صحت و دقت اجرای کار را پایین می‌آورد. درحالی‌که تکنیک یادگیری ماشین تغییرات تمام شاخص‌های منتخب را بررسی می‌کند و پیکسل‌ها را به دلیل تشابه در طبقه مطلوب قرار می‌دهد. در مورد کارهای مرتبط با ارزیابی کشاورزی از جمله کاربری اراضی، الگوریتم جنگل تصادفی، همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، به کررات کارایی خود را نشان داده است. در این مطالعه، از ۷۰ درصد نمونه‌های تعلیمی برای آموزش و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد و نتایج حاصل نسبت به کارهای مشابه با روش‌های دیگر از نظر استفاده از تکنیک یادگیری ماشین بهتر بود. در مورد ارزیابی سطح زیر کشت محصول برنج و تفکیک آن که تماما در محیط گوگل ارث انجین بوده است، با استفاده از تصویرهای سنتینل ۲ و تفکیک مکانی ۱۰ متری برای از بین بردن لکه‌هایی از طبقه‌ها (کلاس‌های) دیگر یا تشخیص ندادن طبقه، از کدهایی در بهبود کیفیت طبقه‌بندی استفاده شد، زیرا با بهبود تفکیک مکانی طبقه‌بندی ریزتر می‌شود و احتمال تشخیص و تفکیک سخت‌تر می‌گردد.

فهرست منابع

- تقی‌خانی، م. ح.، سیما، س.، رئیسی دهکردی، ا. و کریمی، ن. (۱۴۰۱). تولید نقشه‌های دمای سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی بالا از داده‌های ماهواره سنتینل ۲. (مطالعه موردی؛ اصفهان). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۱۲): ۲۷۹۱-۲۷۷۵.
- 10.22059/ijswr.2023.350130.669385
- صفرزاده، ط.، رسولیان، ک.، اکبری‌نسب، م. و طالب‌پور، ن. (۱۳۹۸). آشکارسازی تجربی آب‌های کدر و شفاف با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه نمونه‌ای آبگیر سد سفیدرود). مهندسی منابع آب. ۴۳(۱۲): ۸۷-۹۸.
- فتحی، م. و شاه‌حسینی، ر. (۱۴۰۲). بهبود دقت شناسایی مزارع برنج با استفاده از تصاویر سری زمانی دمای سطح زمین ماهواره لندست ۸ و الگوریتم‌های یادگیری ماشین. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۳۲(۱۲۵): ۵۳-۶۶.
- قره‌چلو، س.، اکبری قوچانی، ح.، گلیان، س. و گنجی، ک. (۱۴۰۰). ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌ای راداری سنتینل ۱ و الوس ۱ (منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱۲(۳): ۴۰-۶۱.
- کابلی زاده، م.، رنگزن، ک. و محمدی، ش. ۱۳۹۷. کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ در پایش محیطی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۹(۳): ۷۱-۵۳.
- کیانی، ع. ر. و یزدانی، م. ر. ۱۴۰۰. بررسی روش‌های خشکه‌کاری و نشایی برنج بر مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری در استان گلستان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. ۴۰ صفحه.
- گزارش برنامه سازگاری با کم آبی خوزستان. ۱۴۰۰. انتشارات استانداری خوزستان.

گیلانی، ع.ع.، آبسالان، ش. و جلالی، س. ۱۳۹۵. مقایسه روش خشکه کاری با شیوه های رایج کاشت ارقام برنج از نظر میزان آب مصرفی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۹۸۰۲. ۲۷ صفحه.

گیلانی، ع.ع. ۱۳۹۸. مدیریت تولید برنج در روش خشکه کاری. موسسه تحقیقات برنج کشور. نشریه فنی شماره ۴۱، ۲۳ صفحه.

مختاران، ع. و گیلانی، ع.ع. ۱۴۰۱. بررسی اثر دور آبیاری در سامانه آبیاری قطره ای نواری (تیپ) بر ارقام برنج رایج خوزستان در روش خشکه کاری. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۶۲۰۵۱. ۵۴ صفحه.

مختاران، ع.، ناصری، ع.ع. و کشکولی، ح.ع. ۱۳۹۲. تعیین ضخامت فصل مشترک آب شور-شیرین در اراضی تحت آبیاری و آب زیرزمینی شور و کم عمق. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه تهران. ۷-۸ آبان.

Ajith, K., Geethalakshmi, V., Ragunath, K., Pazhanivelan, S., & Panneerselvam, S. (2017). Rice Acreage Estimation in Thanjavur, Tamil Nadu Using Lands at 8 OLIIMAGES and GIS Techniques. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 2327-2335.

Ansari Amoli, Abdolreza & Alimohammadi, Abbas. (2019). RICE AREA ESTIMATION BY USING MULTI-TEMPORAL CLASSIFICATION METHOD AND AVHRR DATA. *Planning and preparation of space*. 15.2 (1).

Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, 5, 949-981. <https://doi.org/10.3390/rs5020949>

Bhuyan B, Sahoo BK, Suar D (2020) Quantile regression analysis of predictors of calorie demand in India: an implication for

- sustainable development goals. *J Quant Econ* 18:825–859. <https://doi.org/10.1007/s40953-020-00200-4>.
- Brown, Christopher & Brumby, Steven & Guzder-Williams, Brookie & Birch, Tanya & Hyde, Samantha & Mazzariello, Joseph & Czerwinski, Wanda & Pasquarella, Valerie & Haertel, Robert & Ilyushchenko, Simon & Schwehr, Kurt & Weisse, Mikaela & Stolle, Fred & Hanson, Craig & Guinan, Oliver & Moore, Rebecca & Tait, Alexander. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*. 9. 251. [10.1038/s41597-022-01307-4](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4).
- Chauhan, S., Darvishzadeh, R., Boschetti, M., Pepe, M., & Nelson, A. (2019). Remote sensing-based crop lodging assessment: Current status and perspectives. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 151, 124-140. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.005>.
- Darvishzadeh, R., Matkan, A. A., & Eskandari, N. (2011). Evaluation of ALOS-AVNIR2 spectral indices for prediction of rice biomass. *Journal of Geographical Landscape*, 6, 11-14. (in Persian).
- De Lima IP, Jorge RG and de Lima JLMP (2021) Remote Sensing Monitoring of Rice Fields: Towards Assessing Water Saving Irrigation Management Practices. *Front. Remote Sens.* doi: 10.3389/frsen.2021.762093
- Delegido, J.; Verrelst, J.; Rivera, J.P.; Ruiz-Verdú, A.; Moreno, J. 2015. Brown and green LAI mapping through spectral indices. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 35, 350–358.
- FAO. 2019. Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Feyisa, G.L.; Meilby, H.; Fensholt, R. & Proud, S.R. 2013 . Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.

- Gorelick, N. Hancher, M. Dixon, M. Ilyushchenko, S. Thau, D. & Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*.202(1):18-27.
- Hajirad I, Mohammadi S, Dehghanisanij H. Determining the Critical Points of a Basin from the Point of View of Water Productivity and Water Consumption Using the WaPOR Database. *Environmental Sciences Proceedings*. 2023; 25(1):86. <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14322>.
- Huete, A. K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira.2002.Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices
- Inoue, S. Ito, A. & Yonezawa, C.2020. Mapping Paddy fields in Japan by using Sentinel 1 SAR time series supplemented by Sentinel 2 images on Google Earth Engine, *Remote Sensing*. 12(10):1622.
- Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B., & Abdollahi, S. (2013). Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. *Cereal Research*, 3, 167-180. (in Persian). <https://doi.org/20.1001.1.22520163.1392.3.3.1.2>
- Kamlesh Lulla, M. Duane Nellis, Bradley Rundquist, Prashant K. Srivastava & Szilard Szabo .2021. Mission to earth: LANDSAT 9 will continue to view the world, *Geocarto International*, 36:20, 2261-2263, DOI: 10.1080/10106049.2021.1991634
- Kaplan, G. Avdan, U.2017. “Water extraction technique in mountainous areas from satellite images,” *J.Appl. Remote Sens*. 11(4), 046002, doi: 10.1117/1.JRS.11.046002.
- Kazemi Posht Mousavi, H., Pirdashti, H. A., Bahmanyar, M. A., & Nasiri, M. (2007). Study the effects of nitrogen fertilizer rates and split application on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 20, 68-77. (in Persian).

- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028>
- Kumar, V. and Ladha, J. K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. *Adv. Agron.* 111, 297–413. Doi: 10.1016/B978-0-12-387689-8.00001-1.
- Li, Y.H. 2001. Research and practice of water-saving irrigation for rice in China, in *Proceedings of an International Workshop, Water-Saving Irrigation for Rice*, 23-25 March 2001, eds R. Barker, Y. Li, and T. P. Tuong (Wuhan; Colombo: International Water Management Institute), 135–144.
- Liu, L. Huang, J. Xiong, Q. Zhang, H. Song, P. Huang, Y. Dou, Y. Wang, X. 2020. Optimal MODIS data processing for accurate multi-year paddy rice area mapping in China. *GIScience & Remote Sensing*, 57(5):687-703.
- Liu, H., Hussain, S., Zheng, M., Peng, S., Huang, J., Cui, K. & Nie., L. 2015. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), pp.285-294.
- Magidi, J.; Nhamo, L.; Mpandeli, S.; Mabhaudhi, T. Application of the Random Forest Classifier to Map Irrigated Areas Using Google Earth Engine. *Remote Sens.* 2021, 13, 876. <https://doi.org/10.3390/rs13050876>.
- Mahajan, G., Chauhan, B.S., Timsina, J., Singh, P.P. & Singh, K. 2012. Crop performance and water-and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Research*, 134, pp.59-70.
- Mansaray, L.R. Huang, W. Zhang, D. Huang, J. 2017. Mapping rice fields in urban Shanghai southeast China, using Sentinel-1A and Landsat 8 datasets. *Remote Sensing*, 9(3), 257.

- Mesri, A., Rahimi-Ajdadi, F., & Bagheri, I. (2022). Monitoring Rice Land Changes Using GIS and RS. *Journal of Agricultural Machinery*, 12(4): 515-527. (in Persian with English abstract).
- Mondal, S., Jeganathan, C., Sinha, N. K., Rajan, H., Roy, T., & Kumar, P. (2014). Extracting seasonal cropping patterns using multi-temporal vegetation indices from IRS LISS-III data in Muzaffarpur District of Bihar, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17, 123-134.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.002>.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Pasqualotto N, Delegido J, Van Wittenberghe S, Rinaldi M, Moreno J. 2019. Multi-Crop Green LAI Estimation with a New Simple Sentinel-2 LAI Index (SeLI). *Sensors*; 19(4):904.
<https://doi.org/10.3390/s19040904>
- Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A, Khoshravesh, M. & Waqas, M. M.2020. Investigation of the yield and yield components of rice in shallow water table and saline. *Big Data in Agriculture (BDA)* 2 (1), 36–40.
- Rao, K.V., Gangwar, S., Keshri, S., Chourasia, R., Bajpai. L. & Soni. A. 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L) yield under system of rice intensification management. *Applied Ecology and Environmental Research*. 15. 487-495.
- Roy, R., Chan, N.W. & Xenarios, S. (2016). Sustainability of rice production systems: an empirical evaluation to improve policy. *Environ Dev Sustain* 18:257–278.
<https://doi.org/10.1007/s10668-015-9638-x>.
- Sathiyaraj. 2017. Influence of Rice Varieties and Irrigation Regimes on Rice under Raised Bed and Drip Fertigation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Volume 6 Number, 11 pp. 4100-4108,
doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.480.

- Schmidt, J.; Marques, M.R.; Botti, S.; Marques, M.A. Recent advances and applications of machine learning in solid-state materials science. *NPJ Comput. Mater.* 2019, 5, 1–36.
- Seck, P.A., Diagne, A., Mohanty, S. & Wopereis. M.C. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. *Food security*, 4(1), pp.7-24.
- Sharda, R., Mahajan, G., Siag, M., Singh A. & Chauhan. B.S. 2017. Performance of drip-irrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. *Paddy and water environment*, 15 (1), pp.93-100.
- Steinhaus, J. M., Wagner, D., Narasimhan, B. & Waske, B. 2018. Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improved land use and land cover mapping of monsoon regions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.08.011>.
- Singha, M., Dong, J., Zhang, G., & Xiao, X. (2019). High resolution paddy rice maps in cloud-prone Bangladesh and Northeast India using Sentinel-1 data. *Scientific data*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0036-3>.
- Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B. and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agric. Water Manag.* 56, 93–112. Doi: 10.1016/S0378-3774(02)00007-0.
- Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., & Qi, J. (2017). Monitoring rice agriculture across Myanmar using time series Sentinel-1 assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing*, 9, 119. <https://doi.org/10.3390/rs9020119>.
- Torre. D.M.G, Gao J, Macinnis-Ng. C, Shi.Y.2021.Phenology-based delineation of irrigated and rain-fed paddy fields with Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine.GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE. <https://doi.org/10.1080/10095020.2021.1984183>.
- Wang, J. Huang, J. Wang, X. Jin, M. Zhou, Z. Guo, Q. Zhao, Z. Huang, W. Zhang, Y. Song, X. 2015. Estimation of rice phenology date using integrated HJ-1 CCD and Landsat8 OLI

- vegetation indices time- series images. Journal of Zhejiang University- SCIENCE B.16 (10):832-844.
- Wan, S., Kang, Y., Wang, D. & Liu, S. P. 2010. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management*, 98(1), 105-113.
- Wang, H., Boumam, B. A. M., Zhao, D., Wang, C. and Moya, P. F. 2002. "Aerobic rice in northern China: opportunities and challenges," in Proceedings of the International Workshop on Water-Wise Rice Production, Water-Wise Rice Production, 8-11 April, eds B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong, and J. K. Ladha (Los Baños: International Rice Research Institute), 143–154.
- Wang, X., Yang, J., Liu, G., Yao, R. & Yu, S. 2015. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management*, 149, 44-54.
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.
- Weller, S., Janz, B., Jörg, L., Kraus, D., Racela, H. S. and Wassmann, R. 2016. Greenhouse gas emissions and global warming potential of traditional and diversified tropical rice rotation systems. *Glob. Change Biol.* 22, 432–448. Doi: 10.1111/gcb.13099.
- Z. Miao, H. Cui, J. Su, W. Hou and J. Huang, 2021 , "Research and Implementation of Crop Identification Based on Sentinel-2 Time Series Data in Shijiazhuang City," 2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS), Changchun, China, pp. 572-576, doi: 10.1109/EIECS53707.2021.9587994.

- Zhan, P. Zhu, W. Li, N.2021. An automated rice mapping method based on flooding signals in synthetic aperture radar time series. *Remote Sensing of Environment*.252.112112.
- Zhang.C, Dong.J, Xie.Y, Zhang. X, Ge.Q.2022.Mapping irrigated croplands in China using a synergetic training sample generating method, machine learning classifier, and Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 112 (2022) 102888. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102888>.
- Ziaieian Firouzabadi, P., Sayad Bidhendi, L., & Eskandari Noudeh, M. (2009). Mapping and acreage estimating of rice agricultural land using radarsat a satellite images. *Physical Geography Research Quarterly*, 41, 45-58. (in Persian).