



دانشگاه گلستان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۶ (۲۱۵-۱۹۵)

برآورد خلأ عملکرد مزارع گندم با استفاده از رهیافت‌های GIS، RS و مدل SSM (مطالعه موردی: حوضه قره‌سوی شهرستان گرگان)

میثم بادسار^۱، بهنام کامکار^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و امید عبدی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۷

چکیده

با توجه به افزایش قیمت غلات و نگرانی در مورد امنیت غذایی جهانی، تحقیقات در مورد خلأ عملکرد طی سال‌های اخیر به سرعت در حال افزایش است. تخمین دقیق اندازه و توزیع مکانی خلأ عملکرد کاربردهای زیادی از جمله در کشاورزی دقیق دارد. این پژوهش به منظور برآورد خلأ عملکرد گندم در حوضه قره‌سوی شهرستان گرگان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور و مدل SSM انجام شد. بدین منظور از مدل SSM برای برآورد عملکرد تابش محدود، از تصاویر ماهواره لندست ۸ جهت استخراج شاخص‌های گیاهی، از روابط رگرسیونی برای تعیین رابطه شاخص‌های گیاهی با عملکرد ثبت شده برای تولید لایه رستری عملکرد تخمین زده شده، از رابطه تابش رسیده و عملکرد تابش محدود برای تولید لایه رستری عملکرد تابش محدود حوضه و از تابع تفاضل برای تعیین خلأ عملکرد استفاده شد. نتایج نشان داد که عملکرد تابش محدود، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد اراضی زیر کشت گندم که از روش نظارت شده از سایر کشت‌ها جدا شده بود، به ترتیب بین ۵/۴۲ تا ۷/۹۴ تن در هکتار، ۲/۲۷ تا ۵/۳۹ تن در هکتار و ۱/۶۷ تا ۴/۸۸ تن در هکتار متغیر بود. ضریب عملکرد منطقه‌ای نیز بین ۰/۳۲ تا ۰/۷۶ محاسبه شد و نشان داد که مناطق تحت کشت گندم این حوضه دارای واریانس قابل توجهی هستند. بنابراین، با توجه به اینکه ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی و توپوگرافی طی زمان کم و بیش بدون تغییر می‌مانند، پیشنهاد می‌شود عامل مدیریت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده خلأ عملکرد در حوضه قره‌سو مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های گیاهی، ضریب عملکرد منطقه‌ای، عملکرد تابش محدود، لندست ۸

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۴- کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: kamkar@gau.ac.ir

مقدمه

در حال حاضر، بزرگ‌ترین چالشی که جهان با آن مواجه است، افزایش جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی می‌باشد. توانایی منابع طبیعی جهت تامین نیازهای جمعیت در حال رشد، موضوعی اساسی برای جوامع بین‌المللی می‌باشد و به‌دلیل عواملی مانند رقابت و تقاضای شدید صنایع و شهرها، این منابع تخریب و آلوده شده و در نتیجه فشار شدیدی بر منابع طبیعی وارد می‌آورد (FAO, 1996). بنابراین، افزایش بیشتر سطح زیر کشت در آینده، راه حل مطلوبی نخواهد بود. محققان افزایش بهره‌وری را موثرترین راهکار موجود برای تامین نیازهای غذایی آینده می‌دانند (Alexandratos, 1995). انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰، تقاضای جهانی غلات برای غذا و خوراک دام به ۲/۸ میلیارد تن در سال برسد (Lobell et al., 2009). به‌طور دقیق‌تر، تقاضا برای گندم بر اساس تولید و تغییرات ذخیره کشورها، از ۶۲۱ میلیون تن طی سال‌های ۲۰۰۶ - ۲۰۰۴ میلادی به ۷۶۰ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ میلادی و به حدود ۸۱۳ میلیون تن در سال ۲۰۳۰ میلادی و به بیش از ۹۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۵۰ میلادی افزایش خواهد یافت. این ارقام نشان می‌دهند که رشدی معادل ۶/۱ درصد در سال در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۵، نیم درصد در سال در دوره ۲۰۳۰-۲۰۰۵ و ۹/۰ درصد در سال در دوره ۲۰۵۰-۲۰۰۵ نیاز می‌باشد تا عرضه جهانی گندم تقاضای جهانی برای آن را تامین کند (Jalal Kamali, 2008). دستیابی به این سطح از تولید با توجه به عدم امکان افزایش سطح زیر کشت تنها از طریق افزایش عملکرد امکان‌پذیر خواهد بود (Zarea et al., 2006). با توجه به افزایش قیمت غلات و نگرانی در مورد امنیت غذایی جهانی، تحقیقات در مورد خلأ عملکرد طی سال‌های اخیر به‌سرعت در حال افزایش است (Van Ittersum et al., 2013). خلأ عملکرد گیاهان زراعی مهم و سامانه‌های کشاورزی، چارچوبی اساسی برای اولویت‌بندی تحقیقاتی و سیاست‌گذاری شده را با هدف کاهش خلأ فراهم می‌کند (Hall et al., 2013).

در صورتی که آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه فراهم و محیط رشد عاری از هر گونه علف‌هرز، آفت یا بیماری باشد، سرعت رشد محصول توسط عوامل محیطی تعیین می‌شود. عملکرد در این شرایط به عملکرد بالقوه یا پتانسیل (Potential yield) موسوم است (Torabi et al., 2011) عملکرد واقعی (Actual yield) عملکرد برداشت‌شده در مزرعه را نشان می‌دهد و اختلاف بین عملکرد پتانسیل و

واقعی است که اصطلاحاً به خلأ عملکرد (Yield gap) موسوم است و شامل عواملی است که هدف از مدیریت و پژوهش‌های زراعی، کنترل آن‌ها است (Van Ittersum and Rabbinge, 1997; Cassman et al., 2003).

ارزیابی خلأ عملکرد بیشتر روی غلات دانه‌ای مهم (برنج، گندم و ذرت) متمرکز شده‌اند. آگاروال و همکاران (Aggarwal et al., 2008) نیز آنالیز خلأ عملکرد را برای پنبه و خردل مورد پایش قرار داده‌اند. فیشر و همکاران (Fischer et al., 2009) و فیشر و ادمس (Fischer and Edmeades, 2010) خلأ عملکرد را بین ۱۰۰-۴۵ درصد گزارش کرده‌اند. مینگ و همکاران (Meng et al., 2013) در تحقیقی با استفاده از مدل Hybrid-Maize به بررسی پتانسیل و خلأ عملکرد در کشت فشرده ذرت در چین پرداختند. آن‌ها خلأ عملکرد ذرت برای کشت آبی و دیم را به ترتیب معادل ۸/۶ و ۶ تن در هکتار برآورد کردند که سهم عملکرد به‌دست آمده توسط کشاورز معادل ۵۶-۴۸ درصد عملکرد پتانسیل بود. باتیا و همکاران (Bahtia et al., 2008) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلأ عملکرد سویای دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که به‌طور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلأ عملکرد آن‌ها حدود ۷۰ درصد بود. نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahalati and Koochaki., 2009) با استفاده از مدل WOFOST و GIS پهنه‌بندی بوم‌شناختی گندم در استان خراسان را جهت برآورد عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد انجام دادند و نتیجه گرفتند که خلأ عملکرد در مناطق مورد مطالعه نسبتاً زیاد بوده و مناطقی که دارای پتانسیل عملکرد بالاتری هستند خلأ عملکرد آن‌ها نیز بیشتر می‌باشد. آن‌ها عنوان کردند که خلأ عملکرد گندم به‌دلیل بهبود روش‌های مدیریت به‌تدریج در حال پرشدن است. قرینه و همکاران (Gharine et al., 2012) با استفاده از مدل WOFOST به برآورد عملکرد پتانسیل در منطقه خوزستان پرداختند و اظهار داشتند که بین عملکرد پتانسیل و واقعی کشاورزان اختلاف زیادی وجود دارد.

امروزه رهیافت‌های سیستمی نظیر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در خصوص ارزیابی پتانسیل تولید و خلأ عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مدل‌های شبیه‌سازی بیشتر برای تخمین پتانسیل تولید و از سامانه‌های سنجش از دور برای تخمین عملکرد واقعی استفاده می‌شود. سامانه

ناحیه‌ای عملکرد گندم زمستانه با کمک شاخص NDVI برگرفته از داده‌های سنجنده MODIS با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر پرداختند که نتایج نشان داد خطای نسبی عملکرد تخمین‌زده شده با شاخص NDVI تهیه شده در محدوده ۴۲/۴- تا ۴۰/۵ درصد بود که با این روش پیش‌بینی مطلوب مقادیر عملکرد ۴۰ روز قبل از برداشت یعنی در مراحل بوتینگ- خوشه‌دهی فراهم شد. محمدی احمد محمودی (Mohammdi Ahmad Mahmoodi, 2013) در مطالعه پایش تولید زیست‌توده گندم در مزرعه نمونه ارتش استان گلستان با استفاده از GIS و سنجش از دور برای تخمین نقشه عملکرد منطقه مورد مطالعه از شاخص گیاهی تبدیل- شده (Transformed Vegetation Index (TVI)) استفاده نمود. درویش‌زاده و همکاران (Darvishzadeh *et al.*, 2011) شاخص گیاهی تفاضل (Difference Vegetation Index (DVI)) را که از باندهای قرمز و قرمز دور به دست می‌آید، به عنوان شاخص مطلوب برای تخمین زیست‌توده گیاهی پیشنهاد کردند.

وو و همکاران (Wu *et al.*, 2006) در ناحیه شمالی چین با استفاده از مدل WOFOST و GIS، میانگین عملکرد پتانسیل گندم آبی زمستانه را در مناطق شمالی ۹/۷ تن در هکتار و در مناطق جنوبی ۷/۵ تن در هکتار شبیه‌سازی کردند. آن‌ها تابش خورشیدی کمتر و دمای بالا را دلیل کاهش عملکرد در مناطق جنوبی گزارش کردند. پریا و شیباساکی (Priya and Shibasaki, 2001) با استفاده از مدل EPIC عملکرد شبیه‌سازی شده گندم، ذرت و برنج را با کمک GIS به صورت نقشه تولید و بیان کردند که نتیجه هر دو عملکرد (واقعی و شبیه‌سازی شده) به طور معنی‌داری متفاوت بود و این اختلاف تابع تغییرات آب و هوای فصلی، ویژگی‌های نگهداری آب در خاک و راهبردهای مدیریت زراعی به کار رفته بوده است. آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) با بررسی پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در منطقه‌ای مدیترانه‌ای در اسپانیا خلأ عملکرد ۴۰ تا ۷۰ درصدی را برای این منطقه گزارش کردند و نشان دادند که میزان خلأ تابع مصرف نیتروژن و دسترسی زارعین به آب می‌باشد. لابرته و همکاران (Labert *et al.*, 2009) به بررسی خلأ عملکرد برنج در جنوب شرقی آسیا پرداختند و خلأ عملکرد بین میانگین عملکرد و عملکرد پتانسیل را ۵-۲ تن در هکتار بیان کردند. اولیور و روبرتسون (Oliver and Robertson, 2013) در تحقیقی به کمی کردن الگوی فضایی خلأ عملکرد گندم در

اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System, GIS) نیز یک سامانه اطلاعاتی است که پردازش آن روی اطلاعات مکان مرجع یا اطلاعات جغرافیایی است و به کسب اطلاعات در رابطه با پدیده‌هایی می‌پردازد که با موقعیت مکانی در ارتباط هستند. به کارگیری این ابزار با امکان استفاده در شبکه‌های اطلاع‌رسانی جهانی، یکی از زمینه‌های مناسب جهت معرفی توان‌ها و استعدادهای کشور در سطح جهانی است. گسترش روزافزون شبکه کاربران این سامانه‌ها از جمله نکات اساسی است که می‌تواند به قابلیت‌ها و توانایی‌های این سیستم بیفزاید (Sedighi, 2004). سنجش از دور (Remote Sensing, RS) فن‌آوری بسیار مفیدی است که می‌توان از آن برای به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از خاک و پوشش گیاهی استفاده کرد (Sanaeinejad *et al.*, 2008a). شاخص‌های گیاهی نیز تبدیل‌های ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی شده‌اند. اساس کار این شاخص‌ها روی اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است که دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل است. این امر باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند و انعکاس شدیدی در باند مادون قرمز نزدیک رخ دهد (Fatemi and Rezaei, 2006؛ برگرفته از Rahmani *et al.*, 2011).

قائمی و همکاران (Ghaemi *et al.*, 2010) جهت مطالعه پوشش گیاهی دشت نیشابور شاخص‌های مختلف گیاهی را با کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (Normalized NDVI Difference Vegetation Index) به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی می‌تواند مناطقی را که دارای پوشش انبوه‌تری هستند، بهتر تفکیک کند. ثنایی‌نژاد و همکاران (Sanaeinejad *et al.*, 2008b) با استفاده از تصاویر MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) به مطالعه تغییرات طیف بازتابی مزارع گندم در مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که هم در اوایل و هم در اواخر فصل رشد گندم بین دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک، همبستگی مثبتی وجود داشته و مقدار شاخص NDVI در خرداد و در اوایل آبان کاهش می‌یابد. رن و همکاران (Ren *et al.*, 2008) در مطالعه‌ای در استان شاندونگ چین به بررسی امکان تخمین

بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و مدل SSM (Simple Simulation Model) انجام شد.

مواد و روش‌ها

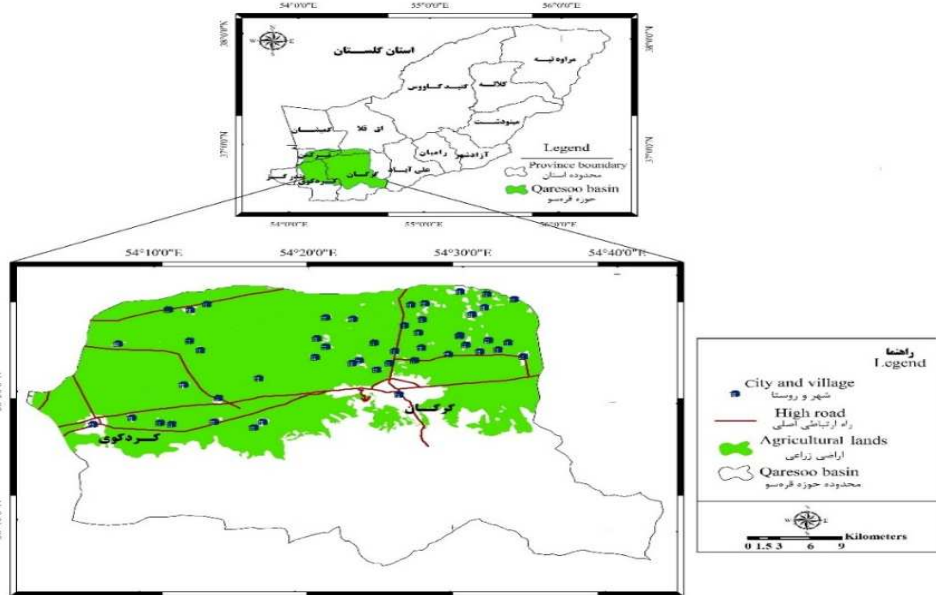
این تحقیق در حوضه قره‌سوی شهرستان گرگان در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد که با مساحت ۱۶۱۰ کیلومتر مربع، در حدود ۸ درصد از مساحت استان گلستان را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). حوضه قره‌سو در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این حوضه دارای ۱۲۴ روستا و ۲ شهرستان (گرگان و کردکوی) می‌باشد و در بخش شمالی به دشت و نقاط کم ارتفاع و در بخش جنوبی به دامنه‌ها و نقاط مرتفع‌تر منتهی می‌شود. ارتفاع آن در پایین‌ترین نقطه ۱۳ متر پایین‌تر و در بالاترین نقطه ۳۲۲۱ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. سطح عمده حوضه آبریز قره‌سو در جنوب توسط جنگل پوشیده شده و در شمال حوضه دشت آبرفتی با کاربری زراعی و مسکونی سطح حوضه را تشکیل می‌دهد.

فرآیند برآورد خلاً عملکرد شامل شناخت دقیق محدوده مطالعاتی، برآورد عملکرد تابش محدود با استفاده از مدل SSM، برآورد عملکرد تخمین‌زده شده حوضه قره‌سو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های گیاهی در محیط GIS و در نهایت تولید نقشه خلاً عملکرد در محیط GIS می‌باشد (شکل ۲).

برآورد عملکرد پتانسیل تابش محدود بر اساس مدل SSM

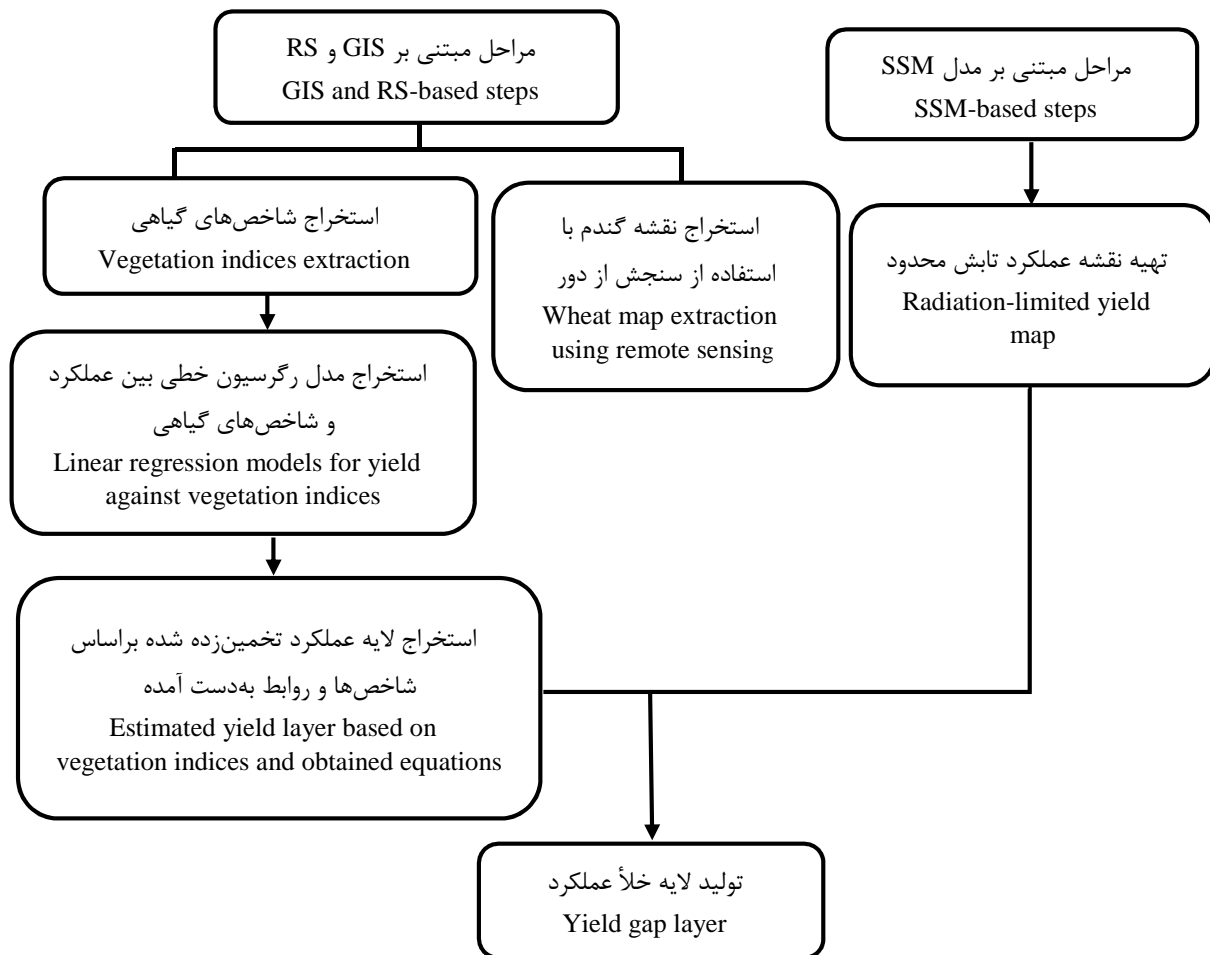
مدل SSM-Wheat (Soltani and Sinclair, 2012)، یک مدل ساده برای گندم است که با کمک آن می‌توان تولید این گیاه و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی تولید آن را تجزیه و تحلیل کرد. این مدل برای گندم با اعمال تغییرات ساده، قابلیت استفاده و تعمیم برای سایر گیاهان زراعی دانه‌دار را دارد.

مناطق دیم مدیترانه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که خلاً عملکرد بین شرایط آب‌محدود و عملکرد واقعی ۰/۵-۲/۵ تن در هکتار بود. بوگارد و همکاران (Boogaard *et al.*, 2013) در پژوهشی با عنوان پیاده‌سازی منطقه‌ای مدل WOFOST برای محاسبه خلاً عملکرد گندم پاییزه در اتحادیه اروپا بیان کردند که خلاً عملکرد بین ۲ تا ۴ تن در هکتار متغیر بوده که در بخش‌های اصلی اتحادیه اروپا، کوچک‌تر و در شمال غرب اروپا در پرتغال در بیشترین میزان می‌باشد. هاگمن و همکاران (Hochman *et al.*, 2013) در تحقیقی در منطقه ویمرای استرالیا، با استفاده از مدل شبیه‌سازی، سنجش‌ازدور و GIS به کمی کردن خلاً عملکرد گندم در سیستم دیم پرداختند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان خلاً سالانه در این منطقه از ۰/۶۳-۴/۱۲ تن در هکتار متغیر و به‌طور میانگین معادل ۲ تن در هکتار است. نکاحی و همکاران (Nekahi *et al.*, 2014) در بررسی خلاً عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی گندم در شهرستان بندر گز اظهار داشتند که میزان خلاً ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. سمیرمی و همکاران (Semiroimi *et al.*, 2011) با استفاده از مدل WOFOST و GIS خلاً عملکرد محصول گندم در شرایط آب‌محدود حوضه آبریز بروجن را بین ۲/۷-۳/۴ تن در هکتار اعلام کردند. همچنین آن‌ها مهم‌ترین عامل خلاً عملکرد در حالت پتانسیل نسبت به شرایط آب محدود در منطقه مورد مطالعه را الگوی توزیع بارش و دمای پایین در طول دوره رشد مرطوب عنوان کردند. لی و همکاران (Li *et al.*, 2014) خلاً عملکرد گندم دشت‌های شمالی چین را با استفاده از GIS و مدل APSIM-wheat بررسی و اختلاف عملکرد را بین ۱۱۴۰ تا ۶۸۱۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. آن‌ها جهت کم کردن خلاً موجود پیشنهاد دادند که از ارقام اصلاح‌شده با عملکرد بالا و از روش‌ها و فناوری‌های جدید استفاده شود. تعیین عملکرد پتانسیل و خلاً عملکرد و بهینه کردن نظام تولید در راستای کاهش این خلاً سه گام اساسی در بهبود تولید نظام‌های کشاورزی به‌شمار می‌روند (Kamkar *et al.*, 2007). با توجه به مسئله امنیت غذایی و تولید گندم با در نظر گرفتن افزایش جمعیت و کاهش اراضی زراعی، این تحقیق با هدف برآورد خلاً عملکرد گندم با تکیه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده اراضی زراعی حوضه قره‌سوی در استان گلستان

Figure 1. Geographical position of agricultural areas of Qaresoo basin, Golestan province, Iran



شکل ۲- نمودار مراحل برآورد خلأ عملکرد گندم در حوضه قره‌سوی

Figure 2. Flowchart of the methodology for wheat yield gap estimation in Qaresoo basin

این مدل شبیه‌سازی را برای سه سطح پتانسیل، تابش محدود، آب محدود و نیتروژن محدود به صورت روزانه انجام می‌دهد و به اطلاعات قابل دسترس درباره هوا (حداقل و حداکثر دما، تابش رسیده یا تعداد ساعات آفتابی روزانه و بارندگی روزانه) و خاک نیاز دارد. از این مدل می‌توان پس از ارزیابی در تجزیه و تحلیل عملکرد گیاه در شرایط دیم و آبی و بررسی محدودیت‌های اقلیمی، خاک، مدیریت زراعی و رقم در تولید گیاه استفاده کرد (Soltani, 2011; Soltani and Sinclair, 2012).

جهت تهیه اطلاعات مورد نیاز هواشناسی این مدل که شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش یا تعداد ساعات

آفتابی روزانه و بارندگی روزانه بودند، از اطلاعات اولیه ایستگاه‌های هم‌دیدگی و اقلیم‌شناسی واقع در داخل و مجاور حوضه قره‌سو (جدول ۱) برگرفته از اداره هواشناسی استان گلستان، استفاده شد. برای تابش از شرایط تابش محدود، برای آب از شرایط پتانسیل و برای کاربرد نیتروژن از حالت بدون محدودیت استفاده شد. با توجه به تاریخ کاشت مطلوب در منطقه، برای همه ایستگاه‌ها (به جز مزرعه نمونه ارتش که ۲۱ آبان بود)، تاریخ کاشت ۲۵ آبان در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده در مدل نیز برای کشت آبی و دیم به ترتیب تجن و کوهدشت انتخاب شدند. تراکم رقم‌های فوق به ترتیب ۳۵۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع تعیین شد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در مدل SSM
Table 1. Geographical position of stations used in the SSM model

ایستگاه Station	نوع ایستگاه Station type	طول جغرافیایی Longitude			عرض جغرافیایی Latitude		
		درجه Degree	دقیقه Minute	ثانیه Second	درجه Degree	دقیقه Minute	ثانیه Second
هاشم آباد Hashem-Abad	هم‌دیدگی Synoptic	54	24	34	36	54	25
بندر ترکمن Bandar-Torkaman	هم‌دیدگی Synoptic	54	03	35	36	54	18
کارکنده Kar-Kondeh	اقلیم‌شناسی Climatology	54	02	20	36	46	10
علی آباد Ali-Abad	هم‌دیدگی Synoptic	54	54	20	36	54	08
مزرعه نمونه ارتش Mazraeh Nemuneh Artash	اقلیم‌شناسی Climatology	54	19	36	36	08	08

برآورد عملکرد تابش محدود در محیط GIS

برای برآورد میزان تابش رسیده طی فصل رشد گندم در حوضه قره‌سو از تابع Area Solar Radiation در GIS استفاده شد. از جمله اطلاعات ورودی این تابع (جدول ۲) لایه رستری DEM (Digital Elevation Model) حوضه مورد مطالعه با دقت ۲۰ متر از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان تهیه شد که به طور خودکار عرض جغرافیایی آن در تابع محاسبه می‌شود. دوره زمانی محاسبه تابش رسیده طی فصل رشد گندم در حوضه قره‌سو از ۲۵ آبان تا ۱۵ خرداد تعیین شد. پارامترهای توپوگرافی نظیر شیب و جهات شیب منطقه از لایه DEM حوضه استخراج شدند. پارامترهای تابش منطقه شامل مدل نور منتشرشده (Diffuse model type)، نسبت پراکندگی نور (Diffuse

proportion) و کسر نور نفوذ کرده (Transmittivity) برای حوضه قره‌سو بود. این پارامترها بر اساس میزان تابش رسیده به زمین برآورد شده در ایستگاه‌های هواشناسی، واسنجی شد. در نهایت میزان تابش برای کل حوضه از طریق GIS محاسبه شد. سپس از رابطه بین مقدار تابش رسیده طی فصل رشد برای دو رقم گندم و عملکرد تابش محدود در مدل SSM، عملکرد تابش محدود محاسبه و به کل سطح بر مبنای کاربری زراعی حوضه تعمیم یافت.

تهیه شاخص‌های گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین عملکرد مزارع گندم حوضه قره‌سو

بدین منظور از تصاویر سنجنده تصویربردار عملیاتی زمین (Operational Land Imager, OLI) ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ‌های ۱۶ فروردین و ۱۷ اردیبهشت

استفاده شد (جدول ۳). تعداد پنج شاخص گیاهی شامل شاخص‌های NDVI، DVI، پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک (Soil Adjusted Vegetation Index، SAVI)، درصد مادون قرمز (Infrared Percentage)، و کسر شاخص گیاهی ساده (Vegetation Index، IPVI) و کسر شاخص گیاهی و مورد ارزیابی و (Ratio Vegetation Index، RVI) مطالعه قرار گرفت (جدول ۴). محاسبه این شاخص‌ها در محیط GIS انجام شد.

نمونه‌برداری از مزارع گندم در حوضه قره‌سو

نمونه‌برداری در مرحله رسیدگی برداشت، به تعداد پنج تکرار به ازای هر هکتار، به روش W شکل با کادر ۰/۲۵

مترمربعی به ابعاد (۰/۵ × ۰/۵) انجام گرفت. در محل هر کادر ضمن ثبت مختصات جغرافیایی با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System، GPS) مدل گارمین ۵۵۰، تعداد بوته و پنجه بارور شمارش شد و سنبله‌های چهار بوته جهت ثبت عملکرد به آزمایشگاه منتقل شد. در این مرحله مختصات جغرافیایی مزارع گندم و محصولات دیگر، مانند کلزا، سیب‌زمینی، جو، باقلا و باغات نیز جهت تفکیک مزارع گندم از سایر محصولات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ثبت شد. آمار توصیفی عملکرد مزارع گندم ثبت‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- اطلاعات ورودی تابع میزان تابش دریافت‌شده در محیط GIS

Table 2. Input information for area solar radiation function in GIS environment

لایه رستری Raster layer	عرض جغرافیایی Latitude	دوره زمانی (روز) Time period (day)	مدل نور منتشرشده Diffuse model type	نسبت پراکندگی نور Diffuse proportion	کسر نور گسیل‌یافته Transmissivity
لایه DEM حوضه با دقت ۲۰ متر DEM of basin, 20×20 m resolution	36.98	200	یکنواخت Uniform	0.44	0.50

جدول ۳- مشخصات داده‌های مورد استفاده سنجنده OLI لندست ۸ مربوط به تاریخ‌های ۱۶ فروردین و ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۲

Table 3. Data used for the Landsat 8 OLI sensors (April 5 and May 7, 2013)

شماره باند Band number	گستره طیفی (میکرومتر) Wavelength (μm)	قدرت تفکیک مکانی (متر) Spatial resolution (m)	عرض باند (کیلومتر) Swath width (km)
باند ۴ - قرمز Band 4 - Red	0.680-0.630	30	185
باند ۵ - مادون قرمز نزدیک Band 5 - Near infrared	0.885-0.845	30	185

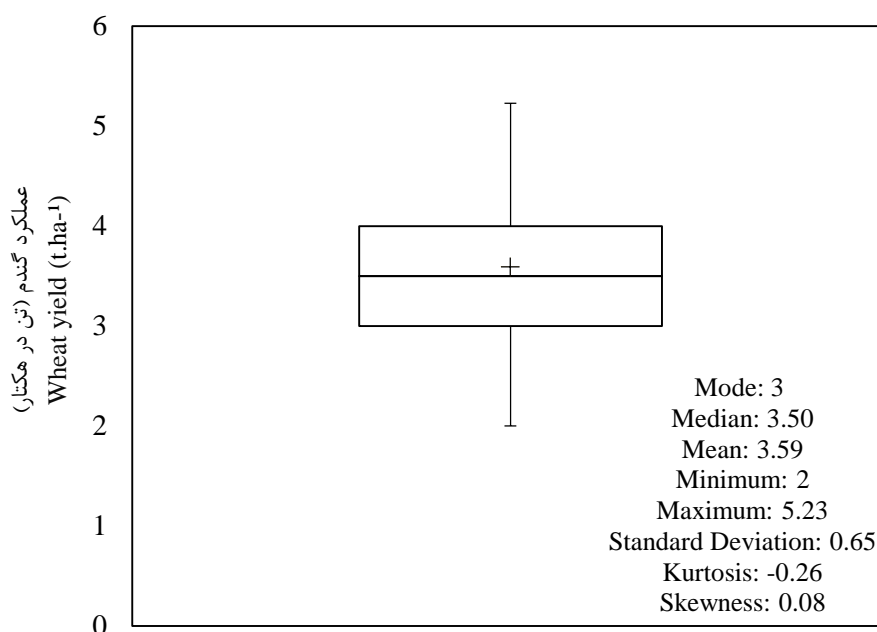
جدول ۴- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده

Table 4. Vegetation indices were used

رابطه Relation	شاخص گیاهی Vegetation index
IR-R	DVI
(IR-R)/(IR+R)	NDVI
$[(IR-R)/(IR+R+L^*)]^*(1+L)$	SAVI
IR/(IR+R)	IPVI
IR/R	RVI

R باند قرمز، IR باند مادون قرمز نزدیک، L ضریب تنظیم برای کاهش اثر خاک روی پوشش گیاهی می‌باشد و برای تراکم پوشش گیاهی متوسط ۰/۵ است (Huete, 1988).

R, red band; IR, near infrared band; L, the adjusted soil coefficient for reduction soil effect on crop cover which is 0.5 for medium density crop cover.



عملکرد مزارع گندم ثبت شده
Recorded yield for wheat fields

شکل ۳- نمودار جعبه‌ای تغییرات عملکرد ثبت شده در مزارع گندم حوضه قره‌سو (برحسب تن در هکتار)
Figure 3. The boxplot of recorded yield variation in wheat fields of Qaresoo basin (t.ha⁻¹)

می‌باشند؛ خطای هندسی که موقعیت، ابعاد و شکل تصویر را تغییر می‌دهد و خطای رادیومتریک که مقدار سلول نوری را مورد تاثیر قرار می‌دهد. برای این کار تصاویر از نظر وجود خطای هندسی و پرتوسنجی (رادیومتری و اتمسفری) بررسی شدند. بررسی‌ها نشان دادند تصاویر از نظر هندسی یا به عبارتی عملیات زمین مرجع کردن نیازی به اصلاح نداشتند. پیش از به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل‌های رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی و رادیومتری مانند راه راه‌شدگی، سلول نوری تکراری، خطای حذف شدن یک سطر یا یک ستون و خطای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابری مورد بررسی قرار گرفت که از این نظر نیز نیازی به تصحیحات خطای هندسی و خطای اتمسفری نبود.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور بارزسازی مزارع گندم

در این تحقیق برای بارزسازی تصاویر از تصاویر رنگی کاذب استفاده شد. از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته شد. جهت جداسازی کاربری‌های مختلف اراضی از تصاویر رنگی کاذب ۲-۵-۷ و ۳-۵-۶ استفاده شد.

برآورد عملکرد با کمک شاخص‌های گیاهی

رابطه خطی بین مقادیر شاخص‌های گیاهی که ارتباط معنی‌داری با عملکرد نمونه‌برداری شده از مزارع مورد مطالعه داشتند، به دست آمد و با استفاده از قابلیت تحلیل مکانی در GIS تبدیل به لایه شد و مقادیر عملکرد مزارع حوضه مورد مطالعه از روی شاخص‌های گیاهی تخمین زده شد. بعد از حذف داده‌های پرت، بین نقاط عملکرد ثبت شده و شاخص‌های گیاهی رابطه رگرسیونی برقرار شد. جهت تعیین دقت عملکرد تخمین زده شده حوضه قره‌سو از ۱۴۵ مزرعه مورد مطالعه، ۱۹ نقطه به عنوان نقطه تست و مابقی جهت برآورد مدل استفاده شدند.

پردازش تصاویر ماهواره جهت تفکیک مزارع گندم حوضه قره‌سو

پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای

بدین منظور از تصویر ماهواره لندست ۸ دارای ۱۱ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد که مربوط به تاریخ ۱۶ فروردین و ۱۷ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ بوده و از پایگاه اطلاعاتی ناسا تهیه شدند. در مرحله اول تصاویر خام برای پردازش‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور تحت تاثیر دو دسته خطای اصلی

تهیه نقشه مزارع گندم به روش نظارت‌شده

جهت ارزیابی نهایی اراضی تحت کشت گندم با واقعیت زمینی، از نقاط ثبت‌شده (شکل ۴) با GPS مدل گارمین ۵۵۰ و تصاویر پایگاه گوگل ارث برای تشخیص بهتر عوارض موجود استفاده شد.

در این مرحله به ترکیب باندهای ۲ تا ۷، شاخص NDVI و باند PC1 مربوط به تصویر هر ماه، اضافه شد. سپس در محیط GIS در هر ۲ تصویر اخذشده اقدام به انتخاب نمونه‌های آموزشی براساس روش USDA (U.S. Geological Survey) شد. نمونه‌های تعلیمی در محیط GIS به شکل جداگانه به یک لایه چندضلعی تبدیل شدند و در آخر چندضلعی کلاس‌ها به محیط نرم‌افزار ERDAS IMAGING 11 منتقل شدند و در فضای این نرم‌افزار طبقه‌بندی صورت گرفت.

جهت صحت‌سنجی (Accuracy Assessment) تفکیک مزارع گندم حوضه قره‌سو از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین (Minimum Distance)، حداکثر احتمال (Maximum likelihood) و فاصله ماهالانوبیس (Mahalanobi Distance) برای هر ماه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

برآورد خلأ عملکرد

پس از تهیه لایه رستری عملکرد تابش محدود، ارزش پیکسل‌های لایه رستری عملکرد تخمین‌زده شده با شاخص گیاهی از ارزش پیکسل‌های رستری عملکرد تابش محدود کسر شد که با رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$Y_g = Y_p - Y_a \quad (1)$$

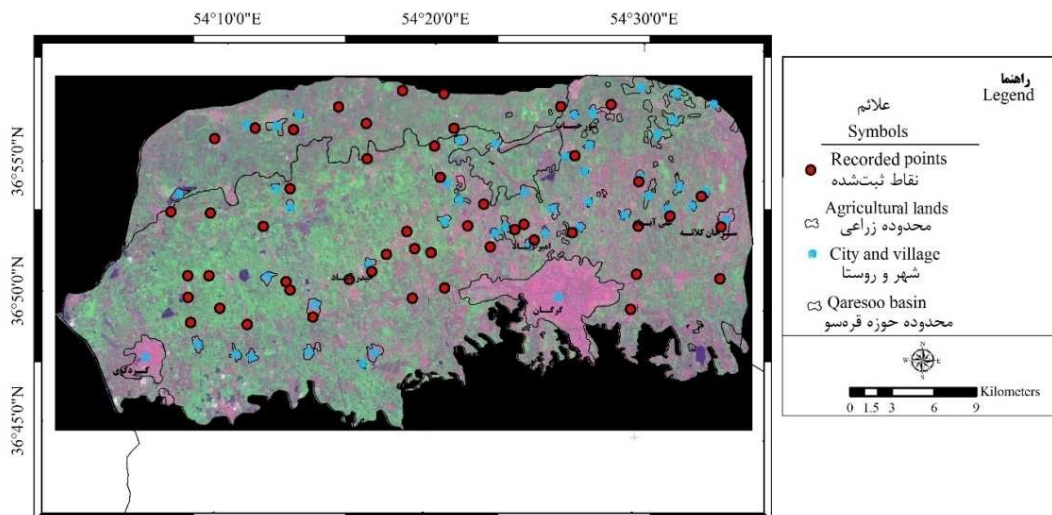
که در آن، Y_g خلأ عملکرد، Y_a عملکرد واقعی و Y_p عملکرد پتانسیل است. در نهایت لایه ایجادشده میزان خلأ عملکرد گندم در مزارع گندم حوضه مورد نظر را نشان داد.

ضریب عملکرد منطقه‌ای (Regional Yield Factor) (RYF)

ضریب عملکرد منطقه‌ای از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$RYF = \frac{Y_a}{Y_p} \quad (2)$$

که در آن، Y_g خلأ عملکرد، Y_a عملکرد واقعی و Y_p عملکرد پتانسیل است. مقدار ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر و ۱ متغیر بود و نشان‌دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت عوامل محدودکننده و عوامل کاهنده تولید می‌توان مقدار عملکرد واقعی را به عملکرد پتانسیل نزدیک کرد.



شکل ۴- موقعیت جغرافیایی مزارع گندم ثبت‌شده جهت تفکیک مزارع گندم با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ۱۶ فروردین ۱۳۹۲
Figure 4. Geographical position of recorded wheat fields to detect wheat fields by satellite images, April 5, 2013

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی صحت نقشه استخراج شده گندم

صحت تفکیک با استفاده از نقاط کنترل زمینی ارزیابی شد که روش حداقل فاصله از میانگین مربوط به ۱۶ فروردین با صحت کلی ۰/۸۶ انتخاب شد (جدول ۵). سپس با استفاده از تابع حذف (Eliminate) در محیط GIS پلی‌گون‌های کوچک مزارع گندم، جهت انطباق با قابلیت‌های DEM حذف شدند (شکل ۵). بر این اساس مساحت مزارع گندم در حوضه قره‌سو معادل ۳۱۲۸۱/۱۹ هکتار برآورد شد.

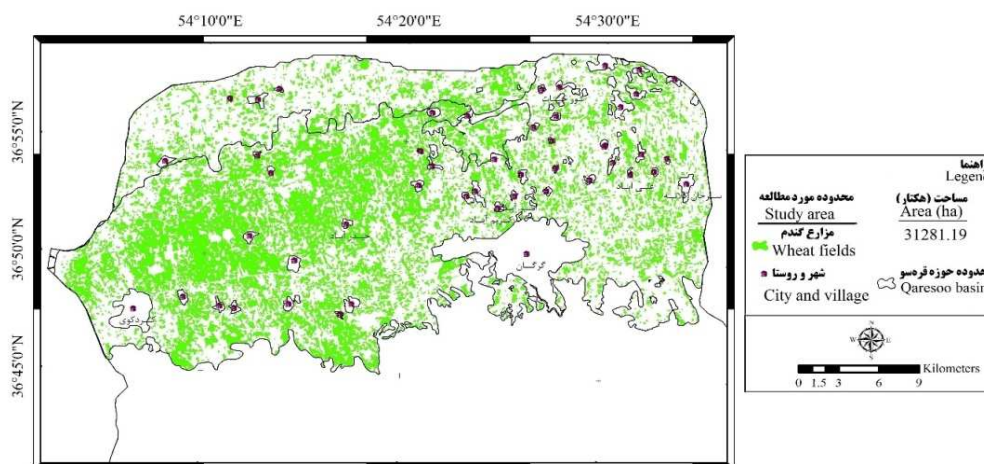
برآورد عملکرد تابش محدود در مدل SSM

نتایج نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار بین مقادیر تابش‌رسیده به مزارع گندم حوضه قره‌سو با میزان عملکرد

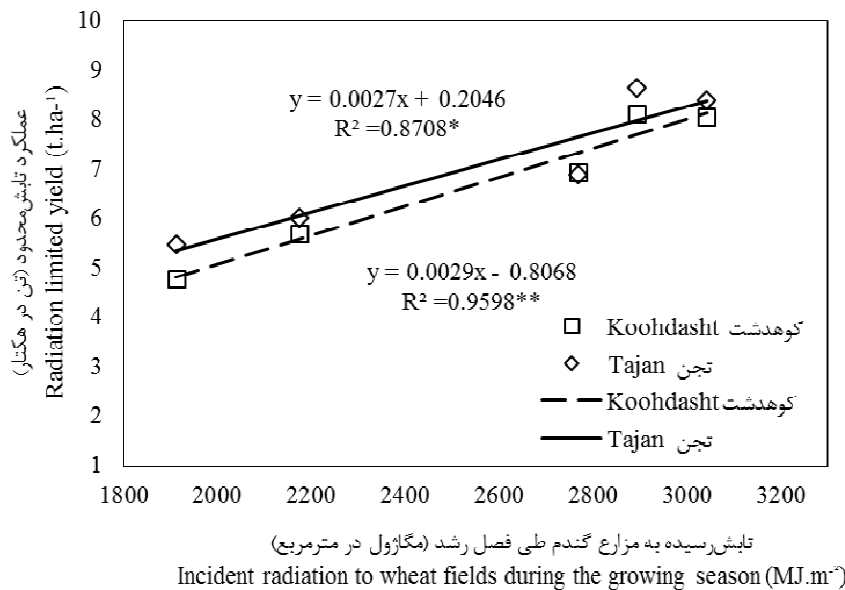
تابش محدود محاسبه شده توسط مدل SSM بود (حدود اطمینان برای ارقام تجن و کوه‌دشت به ترتیب ۹۵ و ۹۹ درصد به‌دست آمد (شکل ۶). بر این اساس، با افزایش یک واحد تابش رسیده، میزان عملکرد تابش محدود رقم‌های تجن و کوه‌دشت به ترتیب ۰/۰۰۲۷ و ۰/۰۰۲۹ تن در هکتار افزایش می‌یابد. نتایج کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2007) نشان داد که پتانسیل عملکرد با کاهش میانگین دما در طول فصل رشد و افزایش میانگین تابش، افزایش می‌یابد. نتایج ترابی (Torabi, 2011) نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P=0/08$ و $r=0/59$) بین عملکرد شبیه‌سازی شده با میزان تابش خورشیدی وجود دارد و بیان کرد که با افزایش میزان تابش، میزان عملکرد در حدود ۰/۴۴ تن در هکتار افزایش می‌یابد.

جدول ۵- ارزیابی صحت کلی نقشه‌های استخراج شده مزارع گندم برای تصاویر ماهواره‌ای
Table 5- Evaluation of general accuracy for extracted wheat fields by satellite images

روش طبقه‌بندی Classification method	تاریخ تصویر Image date	۱۶ فروردین 5 April	۱۷ اردیبهشت 7 May
	ضریب صحت کلی General accuracy assessment coefficient		
حداقل فاصله از میانگین Minimum distance		0.86	0.82
حداکثر احتمال Maximum likelihood		0.74	0.82
فاصله ماهالانوبیس Mahalanobis distance		0.78	0.84



شکل ۵- موقعیت مزارع گندم تفکیک شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محدوده اراضی زراعی حوضه قره‌سو
Figure 5. Geographical position of detected wheat fields by satellite images in agricultural lands of Qaresoo basin



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین میزان تابش رسیده به مزارع گندم طی فصل رشد و میزان عملکرد تابش محدود محاسبه شده برای رقم‌های تاجن و کوهدهشت توسط مدل SSM

Figure 6. Regression equation between incident radiation to wheat fields during growing season and radiation-limited yield calculated for Tajan and Kuhdasht varieties by SSM model

با استفاده از رابطه رگرسیونی بین تابش رسیده طی فصل رشد و میزان عملکرد تابش محدود، نقشه عملکرد تابش محدود مزارع گندم تهیه شد (شکل ۸). نتایج میزان عملکرد تابش محدود را برای رقم کوهدهشت (مناطق دیم) بین ۶/۸۴-۶/۷۹ تن در هکتار (با میانگین ۶/۸۲ تن در هکتار) و برای رقم تاجن بین ۷/۹۴-۵/۴۲ تن در هکتار (با میانگین ۷/۰۳ تن در هکتار) تعیین کرد. بیشترین عملکرد تابش محدود مزارع گندم حوضه بین ۷/۹۴-۷ تن در هکتار بود. از نظر دما و بارش در کل حوضه محدودیتی برای کشت گندم وجود ندارد، بنابراین عامل تعیین‌کننده عملکرد پتانسیل میزان تابش رسیده طی فصل رشد بود. همچنین این مزارع به دلیل عدم تغییرات شدید توپوگرافی، بیشترین میزان تابش را طی فصل رشد دارند. در مناطق جنوبی و شمالی حوضه عملکرد تابش محدود ۶-۷ تن در هکتار محاسبه شد که می‌توان آن را به میزان تابش رسیده طی فصل رشد در مناطق جنوبی و رقم گندم مورد استفاده در مناطق شمالی که رقم کوهدهشت است، نسبت داد. رقم کوهدهشت نسبت به رقم تاجن طول دوره رشد کوتاهی دارد و بنابراین رقم کوهدهشت در شرایط تابش یکسان، عملکرد تابش محدود کمتری خواهد داشت. عملکرد پتانسیل یک محصول بستگی به کل تابش رسیده طی دوره رشد دارد

برآورد تابش رسیده طی فصل رشد گندم در حوضه قره‌سو

میزان تابش مزارع گندم در حوضه مورد مطالعه از ۲۰۰۷/۴۸ تا ۲۹۸۴/۶۴ (به‌طور میانگین ۲۶۳۱/۴۱) مگاژول در مترمربع در طی فصل رشد تغییرات داشت. کمترین میزان تابش دریافتی در مناطق جنوبی حوضه بوده که دلیل آن را می‌توان شرایط توپوگرافی منطقه و قرارگیری مزارع در نزدیکی مناطق مرتفع و سایه‌اندازی دانست (شکل ۷). چن و چن (Chen and Chen, 2010) در پژوهشی میزان تابش خورشیدی را با استفاده از GIS و مدل SOTER در دو مکان مختلف (یک مکان آزمایشی و استان فوجان) تخمین زدند. آن‌ها میزان تابش سالانه استان فوجان را بین ۷۰۰۰ - ۵۰۰۰ مگاژول بر مترمربع محاسبه کردند. در مطالعه‌ای دیگر چن و همکاران (Chen et al., 2013) میزان تابش سالانه در مناطق بیجینگ و ژانگژو واقع در دشت شمال چین را به ترتیب معادل ۵۳۷۰ و ۵۰۱۰ مگاژول در مترمربع گزارش کردند. پژوهش‌ها نشان داده است که تاثیر مثبت تابش خورشیدی بر افزایش عملکرد گندم بیش از تاثیر منفی دماهای بالا (تسریع سرعت نمو) بر کاهش عملکرد گندم می‌باشد (Timsina et al., 2004).

داد که در تصویر ۱۶ فروردین بین عملکرد مزارع مطالعه و کلیه شاخص‌ها به جز شاخص DVI رابطه معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت. برای تصویر ۱۷ اردیبهشت نیز همه شاخص‌ها در سطح احتمال یک درصد با عملکرد رابطه معنی‌داری داشتند. در نهایت با توجه به روابط به دست آمده شاخص RVI به منظور تهیه لایه عملکرد مزارع گندم انتخاب شد. قوی‌ترین روابط خطی بین شاخص‌های به دست آمده از تصاویر و عملکرد ثبت شده مزارع گندم به تصویر اخذ شده در ۱۷ اردیبهشت تعلق داشت. لازم به ذکر است که در این تاریخ مزارع گندم حوضه مورد مطالعه تقریباً در مرحله خمیری شدن دانه قرار داشتند. همچنین شاخص RVI بهترین شاخصی بود که جهت تخمین عملکرد نتایج قابل قبولی ارائه داد. لی‌هانگ و همکاران (Li-Hong *et al.*, 2007) جهت تخمین عملکرد و میزان پروتئین دانه دو رقم گندم با استفاده از شاخص‌های گیاهی در سطوح مختلف نیتروژنی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه و عملکرد دانه وجود داشت که قوی‌ترین رابطه عملکرد با شاخص گیاهی سبز - قرمز (Green-Red Vegetation Index, GRVI) در اواسط مرحله پر شدن دانه دو رقم گندم بود. در تحقیقی موخری و همکاران (Mukherjee *et al.*, 2010) با استفاده از تصاویر مربوط به سنجنده‌های LISS-III و AWiFS و با کمک شاخص‌های گیاهی به پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه روپانگر ایالت پنجاب هند پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که از میان شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص RVI در تصاویر مورد استفاده از دو سنجنده فوق همبستگی معنی‌داری با عملکرد گندم منطقه مورد مطالعه داشتند.

نتایج وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2014) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم در استان‌های هنان و جیانگ‌سو با استفاده از سنجش از دور نشان داد که شاخص RVI دقت بالایی جهت پیش‌بینی عملکرد گندم در مراحل ابتدایی دوره پر شدن دانه داشت. ثنایی‌نژاد و همکاران (Sanaeinejad *et al.*, 2013) جهت تخمین عملکرد گندم ۱۳ مزرعه در شهرستان مشهد از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ و شاخص‌های گیاهی استفاده و گزارش کردند که از بین تصاویر سال ۱۳۸۸، بالاترین همبستگی در تصویر ۲۷ خرداد و هم‌زمان با مرحله خمیری شدن دانه گندم و در سال ۱۳۸۹ در مرحله مشابه ولی در تاریخ ۱۹ خرداد به دست آمد. آن‌ها بیان کردند که

(Nazarifar *et al.*, 2006) و میزان تابش خورشیدی به نوبه خود تابع عرض جغرافیایی می‌باشد (Nasiri Mahalati, 2001).

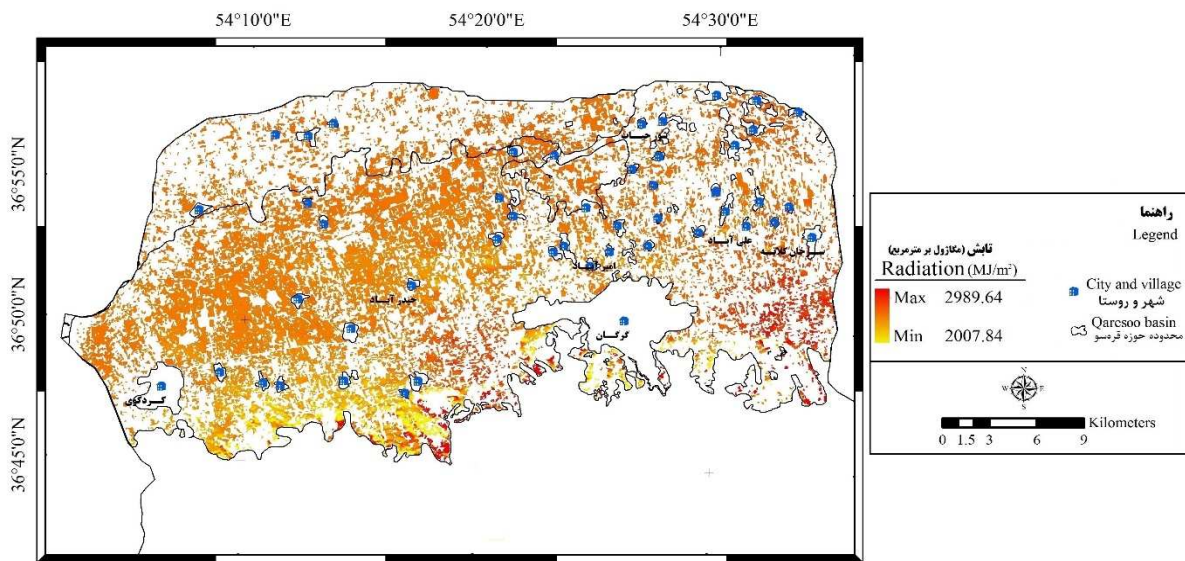
آگاروال (Aggarwal, 1994) پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف هندوستان را با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی بین ۲/۵ تا ۷ تن در هکتار پیش‌بینی کردند. وو و همکاران (Wu *et al.*, 2006) در ناحیه شمالی چین میانگین عملکرد پتانسیل گندم زمستانه را در مناطق شمالی ۹/۷ تن در هکتار و در مناطق جنوبی ۷/۵ تن در هکتار برآورد کردند. آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) تولید گندم را در منطقه‌ای با آب و هوای مدیترانه‌ای در اسپانیا مطالعه و عملکرد پتانسیل این محصول را در منطقه تحت بررسی با استفاده از مدل CERES، ۳/۵ تا ۸/۱ تن در هکتار برآورد کردند. نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahalati and Koochki., 2009) عملکرد پتانسیل گندم در استان خراسان را ۴/۲-۸ تن در هکتار برآورد و بیان کردند که میانگین آن برای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ترتیب معادل ۶/۲، ۶/۹ و ۴/۸ تن در هکتار بود. قرینه و همکاران (Gharine *et al.*, 2012) با استفاده از مدل WOFOST پتانسیل عملکرد گندم در استان خوزستان را محاسبه و بیان کردند که پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف استان خوزستان در دامنه‌ای بین ۷۵۳۸ (شوشتر) تا ۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار (ایذه) متغیر بود. آن‌ها بیان کردند که پتانسیل عملکرد بیشتر به دلیل پایین‌تر بودن دما نسبت به دیگر مناطق و شرایط حرارتی مناسب‌تر برای رشد و نمو گندم بود. بنابراین هزینه نگهداری تنفس گیاه در این منطقه پایین‌تر و فصل رشد گیاه طولانی‌تر است. در نتیجه از تابش روزانه بیشتری در طول دوره رشد خود برخوردار بوده و همین موضوع باعث افزایش عملکرد می‌شود. پتانسیل کمتر نیز به علت تابش خورشیدی کمتر است که باعث کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس، کاهش اندام‌های سبز گیاه و کاهش دوره پر شدن دانه و در نهایت کاهش عملکرد پتانسیل دانه می‌شود. شولتز و همکاران (Schulthess *et al.*, 2013) با استفاده از مدل Hybrid-Maize میانگین عملکرد پتانسیل ذرت را ۱۲/۸۷ تن در هکتار بیان کردند.

تعیین عملکرد مزارع گندم حوضه قره‌سو

نتایج رابطه خطی بین عملکرد مزارع ثبت شده حوضه قره‌سو و شاخص‌های مورد مطالعه هر ماه (جدول ۶) نشان

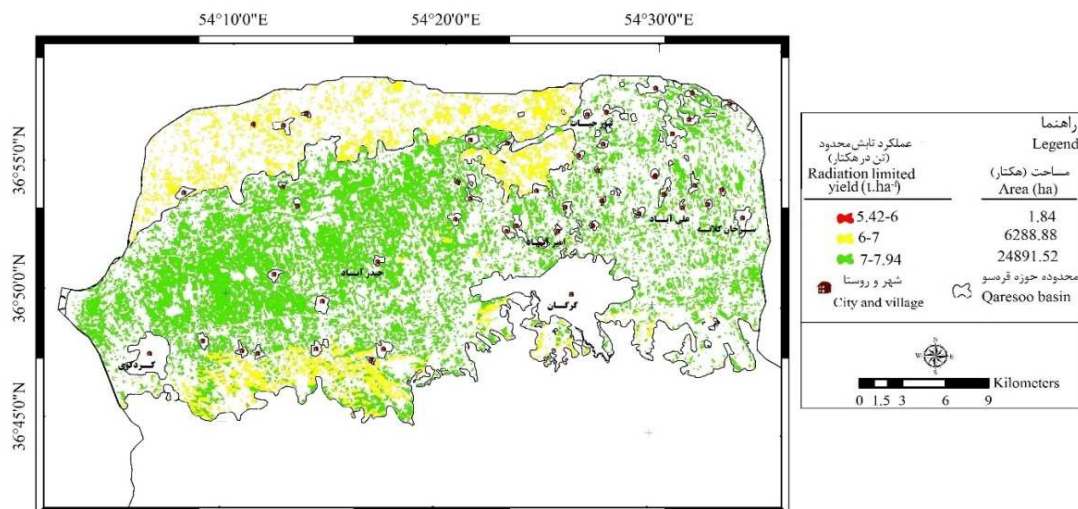
مزارع ذرت شمال غرب بنگلادش را با استفاده از تصاویر ماهواره RapidEye، ۸/۵ - ۷/۶ تن در هکتار برآورد کردند. سون و همکاران (Son et al., 2013) با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS، شاخص تقویت یافته پوشش گیاهی (Enhanced vegetation index (EVI)) و شاخص سطح برگ (LAI)) اقدام به تخمین عملکرد برنج در جلگه مکونگ ویتنام کردند. آن‌ها اطلاعات ماهواره MODIS را در تخمین عملکرد قبل از دوره برداشت تایید کردند و روش‌های مورد مطالعه خود را برای سایر مناطق توصیه کردند.

شاخص‌های NDVI و SAVI همبستگی قابل قبولی با عملکرد نداشتند. سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2006) نیز مشاهده کردند که شاخص‌های NDVI و RVI بالاترین ضریب همبستگی را با زیست‌توده، محتوای آب و ارتفاع گیاه نشان دادند. مخابلا و همکاران (Mkhabela et al., 2011) به پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی با استفاده از شاخص NDVI پرداختند و عنوان کردند که مقادیر ریشه دوم میانگین خطا (RMSE) به ترتیب برای جو، کلزا، نخودفرنگی و گندم بهاره از ۱۵۰ تا ۶۵۴، ۱۰۸ تا ۴۷۵، ۲۰۴ تا ۶۷۷ و ۱۰۴ تا ۷۱۴ کیلوگرم در هکتار بود. شولتز و همکاران (Schulthess et al., 2013) عملکرد واقعی



شکل ۷- تابش‌رسیده طی فصل رشد به مزارع گندم در محدوده زراعی حوضه قره‌سوی

Figure 7. Incident radiation to wheat fields during growing season in agricultural lands of Qarsoo basin



شکل ۸ - عملکرد تابش‌محدود مزارع گندم محدوده اراضی زراعی حوضه قره‌سوی

Figure 8. Radiation- limited yield in wheat fields of agricultural lands of Qarsoo basin

جدول ۶- روابط خطی به دست آمده، سطح معنی دار و ضریب تغییرات بین شاخص‌های مورد مطالعه و عملکرد

Table 6. Linear relationships, significant level and coefficient of variation between studied indices and yield

تاریخ تصاویر Images date	شاخص Index	معادله Equation	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	سطح معنی داری Signification level	تعداد نقاط Points number
۱۶ فروردین 5 April	DVI	0.000047x + 3.0872	17.26	Ns	165
	NDVI	2.0629x + 2.7658	17.19	*	
	RVI	4.1257x + 0.703	17.22	*	
	IPVI	0.3347x + 2.8046	17.19	*	
	SAVI	1.6503x + 3.1784	17.19	*	
۱۷ اردیبهشت 7 May	DVI	0.0001x + 2.2745	15.88	**	145
	NDVI	4.8019x + 1.863	15.65	**	
	RVI	0.9688x + 1.5169	15.65	**	
	IPVI	9.6038x - 2.939	15.65	**	
	SAVI	2.8466x + 2.0612	15.78	**	

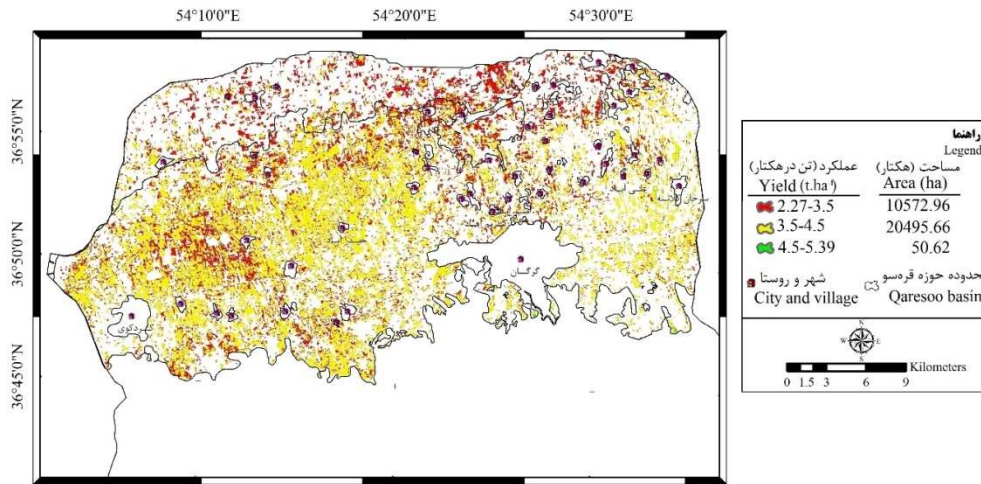
ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

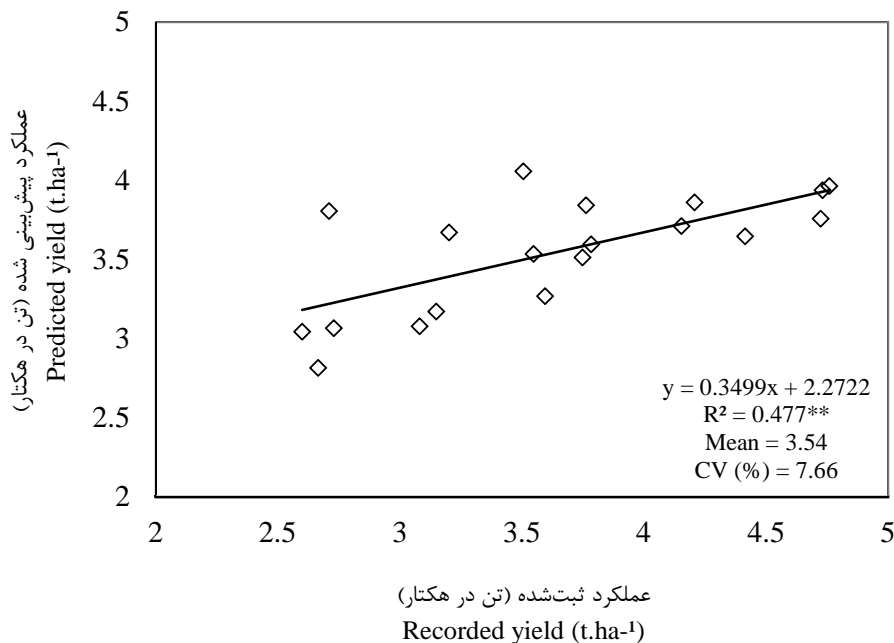
خلأ عملکرد

میزان اختلاف عملکرد تابش محدود و عملکرد حوضه مورد مطالعه، ۱/۶۷ تا ۴/۸۸ تن در هکتار محاسبه شد. نتایج نشان داد که خلأ عملکرد ۵۸/۷۹ درصد از مزارع گندم بین ۴/۸۸-۳/۵ تن در هکتار متغیر بود. همچنین خلأ عملکرد در قسمت‌های شمالی و میانی (واقع در شمال شهرستان کردکوی)، بین ۴/۸۸-۳/۵ تن در هکتار محاسبه شد (شکل ۱۱). مقادیر عملکرد پیش‌بینی شده و خلأ عملکرد تا حد زیادی با یکدیگر انطباق دارند. به عبارت دیگر در مزارع با عملکرد واقعی کمتر، خلأ عملکرد بیشتر بود. آگاروال (Aggarwal, 1994) میزان خلأ عملکرد گندم مناطق مختلف هندوستان را بین ۴-۲ تن در هکتار محاسبه کردند. شولتز و همکاران (Schulthess *et al.*, 2013) با استفاده از مدل Hybrid-Maize خلأ عملکرد ذرت را در شمال غرب بنگلادش در برخی مناطق کمتر از ۲/۵ تن در هکتار تعیین کردند. هاگمن و همکاران (Hochman *et al.*, 2013) نیز در پژوهش خود در منطقه ویمرای استرالیا میزان خلأ عملکرد گندم را به طور میانگین ۲ تن در هکتار برآورد کردند. بوگارد و همکاران (Boogaard *et al.*, 2013) میزان خلأ عملکرد گندم در اتحادیه اروپا را ۴-۲ تن در هکتار تعیین کردند. ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2011) نیز میانگین خلأ عملکرد گندم در شرایط گرگان را ۲۳۴۸ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند.

میزان عملکرد مزارع گندم در حوضه قره‌سو با استفاده از شاخص RVI بین ۲/۲۷ تا ۵/۳۹ تن در هکتار (میانگین ۳/۵۰ تن در هکتار) برآورد شد. همچنین کمترین میزان عملکرد مربوط به قسمت‌های شمالی و میانی حوضه (واقع در شمال شهرستان کردکوی) بود (شکل ۹). ۶۶/۸۶ درصد از مساحت مزارع گندم در حوضه، عملکرد حدود ۴/۵-۳/۵ تن در هکتار داشتند و فقط ۰/۱۶ درصد مزارع عملکردی بین ۴/۵-۵/۳۹ تن در هکتار داشتند. در نقشه عملکرد به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای، رابطه معنی داری بین میزان عملکرد پیش‌بینی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده در ۱۹ نقطه با حدود اطمینان ۹۹ درصد وجود داشت (شکل ۱۰). شی و زینگو (Shi and Xingguo, 2013) نتایج حاصل از سنجش از دور را برای پیش‌بینی منطقه‌ای قابل اعتماد پیشنهاد کردند. بالاقی و همکاران (Balaghi *et al.*, 2010) با استفاده از داده‌های NDVI، عملکرد گندم زمستانه را در سطح استانی معادل ۸۰ الی ۷۶۲ کیلوگرم و در مقیاس ملی معادل ۷۳۰ کیلوگرم خطا برآورد کردند. نتایج محمدی احمد محمودی (Mohammdi Ahmad Mahmoodi, 2013) بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در پیش‌بینی عملکرد گندم در مقیاس منطقه‌ای در ۷۰ روز قبل از برداشت بود. شولتز و همکاران (Schulthess *et al.*, 2013) برای تعیین دقت عملکرد پیش‌بینی شده ۳۰ مزرعه ذرت، تصاویر ماهواره‌ای RapidEye را اعتبارسنجی و متوسط میانگین مربعات خطا (MSE) را ۱/۱۵ تن در هکتار عنوان کردند.



شکل ۹- عملکرد تخمین‌زده شده مزارع گندم در محدوده اراضی زراعی حوضه قره‌سوی
Figure 9. Estimated yield for wheat-grown fields in agricultural lands of Qaresoo basin



شکل ۱۰- رابطه رگرسیونی بین عملکرد ثبت‌شده و پیش‌بینی‌شده با کمک شاخص RVI در ۱۹ نقطه آزمایش شده
Figure 10. Regression equation between recorded and predicted yield using RVI index in 19 control points

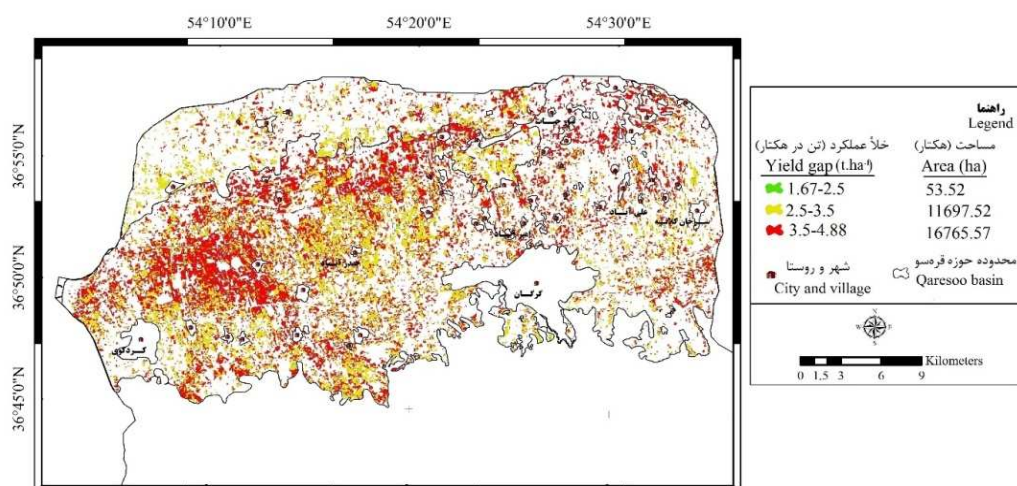
۰/۶ - ۰/۵ داشتند (شکل ۱۲). عملکرد واقعی در یک منطقه مشخص علاوه بر عوامل فیزیکی نظیر اقلیم و خاک، تحت تاثیر عوامل مدیریتی نظیر میزان دسترسی به آب آبیاری، مصرف نهاده‌ها (کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها) و همچنین جایگزینی ارقام قدیمی با ارقام جدید و پر محصول قرار دارد. در واقع نقش مجموعه این عوامل در قالب ضریب عملکرد منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی خاک و شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه در طی زمان کم و بیش

ضریب عملکرد منطقه‌ای

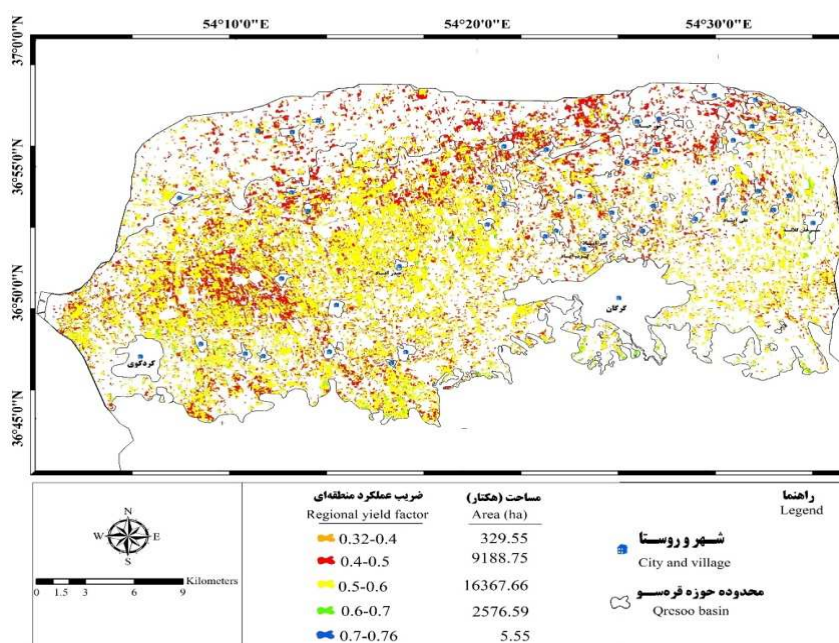
ضریب عملکرد منطقه‌ای مزارع گندم حوضه قره‌سوی بین ۰/۳۲ تا ۰/۷۶ متغیر بود. بخش اعظم قسمت‌های شمالی حوضه ضریب عملکرد منطقه‌ای بین ۰/۴-۰/۵ دارند که حدود ۳۲/۲۱ درصد از مزارع گندم را شامل می‌شود. این مزارع بیشتر جزو مزارع دیم محسوب می‌شوند و دارای مدیریت ضعیف‌تری هستند. همچنین حدود ۶۵/۲۳ درصد از مزارع گندم، ضریب عملکردی بین

میزان ضریب عملکرد منطقه‌ای در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی که دارای بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل عملکرد بودند به ترتیب معادل ۰/۳۷ و ۰/۴۲ بود. طبق برآورد، ضریب عملکرد منطقه‌ای با خلأ عملکرد مزارع گندم انطباق داشت. به بیانی دیگر به‌طور تقریبی می‌توان عنوان کرد میانگین عملکرد تخمین‌زده حوضه قره‌سو نصف میانگین عملکرد تابش محدود حوضه بود. بنابراین میانگین خلأ عملکرد حوضه نیز در دامنه ۳/۳۹-۳/۵۷ تن در هکتار متغیر و میانگین ضریب عملکرد منطقه‌ای نیز ۰/۵ بود.

بدون تغییر می‌مانند، درحالی‌که سایر عوامل تولید متغیر خواهند بود (Nasiri Mahalati and Koochaki, 2009). بنابراین ضریب عملکرد منطقه‌ای عملیات مدیریتی کشاورزان حوضه را نمایش می‌دهد. در مطالعه‌ای در هلند مشخص شد که میانگین ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم در این کشور در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۵ میلادی از ۰/۳۹ به ۰/۶۵ افزایش یافته است (Nonhobel, 1997). نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahalati and Koochaki, 2009) در تحقیق خود نتیجه گرفتند که



شکل ۱۱- خلأ عملکرد مزارع گندم در اراضی زراعی حوضه مورد مطالعه
Figure 11. Yield gap of wheat fields in agricultural lands of the studied basin



شکل ۱۲- ضریب عملکرد منطقه‌ای مزارع گندم در محدوده اراضی زراعی حوضه قره‌سو
Figure 12. Regional yield factor for wheat-grown fields in agricultural lands of Qaresoo basin

بنابراین پیشنهاد می‌شود عامل مدیریت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده خلأ عملکرد در حوضه قره‌سو مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

تولید محصولات زراعی مهم نظیر گندم با توجه به کاهش اراضی زراعی به‌دلیل افزایش تقاضا برای رفع نیازهای غیرزراعی بشر باید در حدی باشد که نگرانی‌های موجود در بحث امنیت غذایی را رفع کند. در سال‌های اخیر ارزیابی میزان خلأ عملکرد یکی از راه‌هایی است که توجه محققان را به‌عنوان معیاری برای بهینه‌کردن نظام تولید به‌خود جلب کرده است. به‌طور کلی، میزان اختلاف عملکردی که می‌توان با بهینه‌کردن در نظر گرفتن سیستم تولید از نظر عوامل خاکی، اقلیمی و توپوگرافی و مدیریتی به آن دست یافت برای رقم‌های تجن و کوه‌دشت به‌ترتیب ۳/۴۲ و ۳/۳۹ تن در هکتار بود. با توجه به میانگین عملکرد واقعی مزارع گندم (حدود ۳/۶۰ تن در هکتار) در حوضه، اختلاف چشمگیری در عملکرد به‌دست آمده توسط کشاورزان وجود دارد که بیان‌گر ناکارآمدی نظام فعلی تولید گندم در این حوضه است. البته بررسی خلأ عملکرد گندم این نوید را می‌دهد که رسیدن به تولید مطلوب برای دستیابی به تولیدی پایدار و رفع نگرانی امنیت غذایی، نیازی به افزایش سطح زیرکشت اراضی حاشیه‌ای ندارد. بنابراین، برآیند هدف‌گذاری‌های نظام تولید گندم در حوضه قره‌سو باید طوری صورت گیرد که این میزان خلأ عملکرد گندم کاهش یابد. پیشنهاد می‌شود جهت بهینه‌سازی نظام تولید گندم در حوضه مورد مطالعه بررسی جامعی در باره عوامل ایجاد خلأ صورت گیرد.

برای به حداقل رسانیدن خلأ عملکرد باید بهبود مدیریت مزارع گندم حوضه نظیر آبیاری، تقسیط کود نیتروژن، انتخاب رقم زراعی مناسب، تاریخ کاشت به‌عنوان یک راهبرد اساسی در اولویت قرار گیرند (Mahmoodan, 2014). کشاورزانی که عملیات زراعی را به‌موقع انجام دهند و از نهاده‌های کشاورزی به‌طور بهینه استفاده نمایند و از دانش فنی بالایی برخوردار باشند حصول عملکرد بالا در مزارع گندم آن‌ها انتظار می‌رود. جدایی (Jodaei, 2000) با بررسی عوامل موثر بر عملکرد گندم آبی در ارومیه عنوان نمود کیفیت خاک عامل اساسی در تبیین اختلاف عملکردها نبوده و در مقابل کارکردهای مدیریتی مزارع از مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییرات مقادیر عملکردها بود. محمودان (Mahmoodan, 2014) به مقایسه عملکرد گندم در سیستم‌های زراعی رایج در حوضه قره‌سوی شهرستان گرگان و مزارع پیشرفته استان گلستان در حوضه گرگان‌رود، واقع در شهرستان آق‌فلا پرداخت. نتایج وی نشان داد آبیاری، دفعات استفاده از کود نیتروژن سرک، استفاده از کودهای ریزمغذی، ماشین‌آلات کاشت، رقم زراعی، رفتار با بقایا، استفاده از قارچ‌کش، تناوب تابستانه و پاییزه سال قبل و تاریخ کاشت از عوامل مهم مدیریتی تأثیرگذار در عملکرد بودند که در این بین اختلاف میان مزارع پیشرفته و رایج در مدیریت آبیاری، ماشین‌آلات کاشت، رقم زراعی، تاریخ کاشت و تناوب زراعی تابستانه و پاییزه بیش‌تر بود. با بررسی عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل برآورد شده، مشاهده شد که اختلاف (خلأ) عملکرد چشمگیری بین این‌دو در سطح حوضه وجود دارد، اما به‌نظر می‌رسد که بدون افزایش سطح زیر کشت می‌توان تولید در واحد سطح را به میزان چشمگیری افزایش داد.

References

- Abeledo, L. G., Savin, R. and Slafer, G. A. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. **European Journal of Agronomy** 28: 541-550.
- Aggarwal, P. K. 1994. Constraints in wheat productivity in India. In: Aggarwal, P.K., Kalra, N. (Eds.). Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India. Agricultural Research Institute, New Delhi, India. pp: 1-11.
- Aggarwal, P. K., Hebbbar, K. B., Venugopal, M. V., Rani, S., Bala, A., Biswal, A. and Wani, S. P. 2008. Quantification of yield gaps in rain-fed rice, wheat, cotton and mustard in India. Global Theme on Agroecosystems Report No. 43. ICRISAT, Patancheru, India, 36 p.
- Alexandratos, N. 1995. World Agriculture: Towards 2010. FAO. Wiley, New York. 383 p.
- Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H. and Jlibene, M. 2008. Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 10: 438-452.

- Bhatia, V. S., Singh, P., Wani, S. P., Chauhan, G. S., Rao, A. V. R., Mishra, A. K. and Srinivas, K. 2008.** Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1252-1265.
- Boogaard, H., Wolf, J., Niemeier, S. and Van Ittersum, M. 2013.** A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research* 143: 120-142.
- Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T. and Yang, H. 2003.** Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 315-358.
- Chen, C., Baethgen, W. E. and Robertson, A. 2013.** Contributions of individual variation in temperature, solar radiation and precipitation to crop yield in the North China Plain, 1961-2003. *Climatic Change* 116 (3-4): 767-788.
- Chen, Z. Q. and Chen, J. F. 2010.** The Simulation of Extraterrestrial Solar Radiation Based on SOTER in Zhangpu Sample Plot and Fujian Province. *Journal of Computers* 5 (1): 144 - 149.
- Darvishzadeh, R., Motakan, A. A. and Eskandari, N. 2011.** Evaluation of ALOS AVNIR-spectral indices for prediction of rice biomass. *Geographical Landscape* 14: 61-73. (In Persian with English Abstract).
- FAO. 1996.** Agro-ecological zoning. Guidelines. FAO, Land and Water Development. 78 p.
- Fatemi, S. B. and Rezaei, Y. 2006.** Foundations remote sensing. Azadeh Press. 257 p. (In Persian).
- Fischer, R. A., Byerlee, D. and Edmeades, G. O. 2009.** Can technology deliver on the yield challenge to 2050? In: FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. 24-26 June 2009. FAO, Rome. Retrieved July 16, 2014, from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak977e/ak977e00.pdf>.
- Fischer, R. A. and Edmeades, G. O. 2010.** Breeding and cereal yield progress. *Crop Science Society of America* 50: 85-98.
- Ghaemi, M., Sanaeinejad, H., Astaraci, A. R. and Mirhosseini, P. 2010.** Study and comparison of different vegetation indices using by ETM+ satellite imagery studies vegetation Neyshabur region, Khorasan Razavi. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (1): 128-137. (In Persian with English Abstract).
- Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A. M., Andarzian, B. and Fayeziadeh, N. 2012.** Agro-climatic zonation for Khouzestan province based on potential yield of Irrigation wheat using by WOFOST model. *Journal of Agroecology* 4 (3): 255-264. (In Persian with English Abstract).
- Hall, A. J., Feoli, C., Ingaramo, J. and Balzarini, M. 2013.** Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. *Field Crops Research* 143: 151-156.
- Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., Van Reese, H., Marinoni, O., Garcia, J. N. and Horan, H. 2013.** Reprint of quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. *Field Crops Research* 143: 65-75.
- Huete, A. R. 1988.** A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25: 295-309.
- Jalal Kamali, M. R. 2008.** Review on wheat position in the past, present and future world. 10th Iranian Crop Science Congress, 18-20 July, Tehran, Iran. (In Persian).
- Jodaei, A. R. 2000.** Study of effective factors in wheat yield at Urmia. 3rd Conference of Agricultural Economics. February 18 – March 1, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M. and Rezvani Moghadam, P. 2007.** Analysis of yield gap of cumin in 9 areas of North Khorasan, South Khorasan and Khorasan Razavi provinces using modeling method. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5: 332-342. (In Persian with English Abstract).
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M. and Rezvani Moghadam, P. 2007.** Analysis of yield gap of cumin in 9 areas of North Khorasan, South Khorasan and Khorasan Razavi Provinces using modeling method. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5: 332-342. (In Persian with English Abstract).
- Laborte, A. G., de Bie, C. A. J. M., Smaling, E. M. A., Moya, P. F., Boling, A. A. and Van Ittersum, M. K. 2012.** Rice yields and yield gaps in South East Asia: past trends and future outlook. *European Journal of Agronomy* 36: 9-20.
- Li, K., Yang, X., Liu, Z., Zhang, T., Lu, S. and Liu, Y. 2014.** Low yield gap of winter wheat in the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 50: 1-12.

- Li-Hong, X., Wei-Xing, C. and Lin-Zhang, L. 2007.** Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different supply levels using canopy reflectance spectra. *Pedosphere* 17 (5): 646-653.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G. and Field, C. B. 2009.** Crop yield gaps: their importance, magnitudes and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 179-204.
- Mahmoodan, S. 2014.** Comparison of wheat yield between common and modern wheat cropping system using geographical information system approach. M. Sc. Dissertation, University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian).
- Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z. and Zhang, F. 2013.** Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crops Research* 143: 91-97.
- Mkhabela, M. S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S. and Yang, Y. 2011.** Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 385-393.
- Mohammdi Ahmad Mahmoodi, A. 2013.** Monitoring production biomass army wheat fields Golestan province using geographical information system and remote sensing. M. Sc. Dissertation, University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian).
- Mukherjee, J., Gebro, G., Sood, A., Mahey, R. K., Bal, S. K., Singh, H. and Sidha, P. 2010.** Wheat yield and acreage prediction using LISS-III and AWiFS sensors data of Indian remote sensing satellite of Rupnager district of Punjab, India. *Italian Journal of Remote Sensing* 42 (3): 155-157.
- Nasiri Mahalati, M. 2001.** Modeling of growth process crop plants. Jahad Daneshgahi Mashhad. 274 p. (In Persian).
- Nasiri Mahalati, M. and Koochaki, A. R. 2010.** Agroecological zone wheat in Khorasan provinces: Estimation of potential and yield gap. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (2): 695-709. (In Persian with English Abstract).
- Nazarifar, M. H., Momeni, R. and Jafari, H. 2006.** Assessment of effect radiation in maximum yield crop production of Karoon basin and zoning of water use efficiency using geographical information system (GIS). First Regional Conference on Optimal Utilization of Water Resources and Watersheds, Zayanderood Karun. September 5-6, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Persian).
- Nekahi, M. Z., Soltani, A., Siahmarguee, A. and Bagherani, N. 2014.** Yield gap associated with crop management in wheat (A case study: Golestan province, Bandar-e Gaz). *Electronic Journal of Crop Production* 7 (2): 135-156. (In Persian with English Abstract).
- Nonhebel, S. 1997.** Harvesting the sun's energy using arecosystems. Quantitative approaches in system analysis, No. 13. Wageningen., The Netherlands. 77 p.
- Oliver, Y. M. and Robertson, M. J. 2013.** Quantifying the spatial pattern of the yield gap within a farm in a low rainfall Mediterranean climate. *Field Crops Research* 150: 29-41.
- Priya, S. and Shibasaki, S. 2001.** National spatial crop yield simulation using GIS based crop production model. *Ecological Modelling* 135: 113-129.
- Rahmani, N., Shahedi, K. and Miryaghoobzade, M. H. 2011.** Assessment of vegetation indices used for remote sensing (A case study: Harsik basin). 18th National Conference and Exhibition Geomatics 2011 and Conferences of the Internatinal Society for Remote Sensing, May15, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ren, J., Chen, Z., Q., Zhou and Tang, H. 2008.** Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10: 403-413.
- Sanaeinejad, H., Astaraei, A. R., Mirhosseini, P., Keshavarzi, A. and Ghaemi, M. 2008a.** Use of satellite imagery for vegetation studies: Comparison of different vegetation indices (A case study: Neyshabour region). 5th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. August 27-28, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N. and Ghaemi, M. 2014.** Wheat yield estimation using Landsat images and field observation (A case study: Mashhad). *Journal of plant Production* 20 (4): 45-63. (In Persian with English Abstract).
- Sanaeinejad, H., Shah Tahmasebi, A. R., Sadri Haghighi, R. and Kelarestani, K. 2008b.** A study spectral reflex variance of wheat fields in Mashhad using MODIS images. *Agriculture Science and Technology* 45: 11-19. (In Persian with English Abstract).
- Sánchez, N., González, R., Prado, J., Martínez-Fernández, J. and Pérez-Gutiérrez, C. 2006.** Estimating and remote sensing. *Ecological Modelling* 222: 2530-2541.

- Sedighi, M. 2004.** Application of geographic information system (GIS) in organizing documents in earth science information and documentation center of Iran. **International Journal of Information Science and Management** 20: 29-49.
- Soltani, A. 2011.** Modeling of development, growth and yield in wheat. Research design report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 115 p. (In Persian).
- Soltani, A. and Sinclair, T. R. 2012.** Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, Wallingford, UK.
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., Duc, H. N. and Nguyen, L. D. 2013.** Prediction of rice crop yield using MODIS EVI-LAI data in the Mekong Delta, Vietnam. **International Journal of Remote Sensing** 34 (20): 7275-7292.
- Taei Semiromi, J., Ghanbari, A., Amiri, E., Ghaffari, A., Siahisar, B. and Ayoubi, Sh. 2011.** Agroecological zoning of wheat in the Borujen watershed: Rainfed and irrigated wheat cropping system evaluation. **Journal of Sustainable Agriculture and Production Science** 22:1-12. (In Persian with English Abstract).
- Timsina, J., Pathak, H., Humphreys, E., Godwin, D., Singh, B., Shukla, A. K. and Singh, U. 2004.** Evaluation of final yield and yield gap analysis in rice using, CERES rice ver. 4.0 in northwest India. 4th International Crop Science Congress, September 28 – October 1, Brisbane, Australia.
- Torabi, B. 2011.** Analyzing wheat yield constraints in Gorgan using simulation model and analytic hierarchy process (AHP). Ph. D. Dissertation, University of Gorgan, Gogan, Iran. (In Persian).
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E. 2011.** Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. **Electronic Journal of Crop Production** 4: 1-17. (In Persian with English Abstract).
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. and Hochman, Z. 2013.** Yield gap analysis with local to global relevance: A review. **Field Crops Research** 143: 4-17.
- Van Ittersum, M. K. and Rabbinge, R. 1997.** Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research** 52: 197-208.
- Wang, L., Tian, Y., Yao, X., Zhu, Y. and Cao, W. 2014.** Predicting grain yield and protein content in wheat by fusing multisensory and multi-temporal remote-sensing images. **Field Crops Research** 164: 178-188.
- Wu, D., Yu, Q., Lua, C. and Hengsdijk, H. 2006.** Quantifying production potentials of winter wheat in the North China plain. **European Journal of Agronomy** 24 (3): 226-235.
- Yegane, H., Khaje Addin, J. and Sofyanian, A. R. 2008.** A study on capability spectral indices of MODIS sensor in estimating vegetation production Semirop pasture. **Journal of Pasture** 2 (1): 63-77. (In Persian with English Abstract).
- Zarea, A., Koochaki, A. and Nasiri Mahalati, M. 2006.** Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. **Iranian Journal of Field Crops Research** 4 (1): 42-69. (In Persian with English Abstract).



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 2, Summer 2017 (195-215)

Yield gap estimation in wheat-grown fields using GIS and RS approach and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan, Iran)

Meysam Badsar¹, Behnam Kamkar^{2*}, Afshin Soltani³ and Omid Abdi⁴

Received: July 15, 2015

Accepted: December 8, 2015

Abstract

Considering rising cereal prices and concern about global food security, researches are increasingly carrying out on the yield gap during recent years. Accurate estimation of the quantity and spatial distribution of the yield gap has many practical applications, such as using in precision farming. This study was aimed to evaluate the yield gap of wheat-grown fields in Qaresoo basin, Gorgan, Iran, using GIS, RS and the SSM model. For this purpose, the SSM model was used to estimate the radiation limited yield; the Landsat 8 to extract crop indices; regression models to relate crop indices and recorded yield in order to provide predicted yield raster layer; received radiation and the radiation-limited yield to provide studied basin's radiation-limited yield and finally minus function to determine the final yield gap. The radiation-limited yield, predicted yield and yield gap of wheat grown fields, (which were detected using supervised method than other crops-grown fields), varied from 5.42 to 7.94 t.ha⁻¹, 2.27 to 5.39 t.ha⁻¹ and 1.67 to 4.88 t.ha⁻¹ respectively. The results revealed that wheat-grown fields had a remarkable variance with respect to calculated regional yield factor (from 0.32 to 0.76). Considering environmental factors (soil-related, climatic and topographic factors), It is proposed to consider management factors as one of the important determiners of yield gap.

Keywords: Crop indices, Landsat 8, Radiation limited yield, Regional yield factor

1. Graduated M. Sc., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3. Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4. M. Sc., Dept. of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province, Gorgan, Iran

* Corresponding author: kamkar@gau.ac.ir